

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-093768

(43)Date of publication of application : 29.03.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/304  
B01J 19/08  
H01L 21/3065  
H05H 1/46

(21)Application number : 2001-143712

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD

(22)Date of filing : 14.05.2001

(72)Inventor : INOOKA YUKIKO  
YAMAZAKI KEIICHI  
SAWADA KOJI  
NAKAZONO YOSHIYUKI  
TAGUCHI NORIYUKI  
NAKANO AKIO

(30)Priority

Priority number : 2000169571

Priority date : 06.06.2000

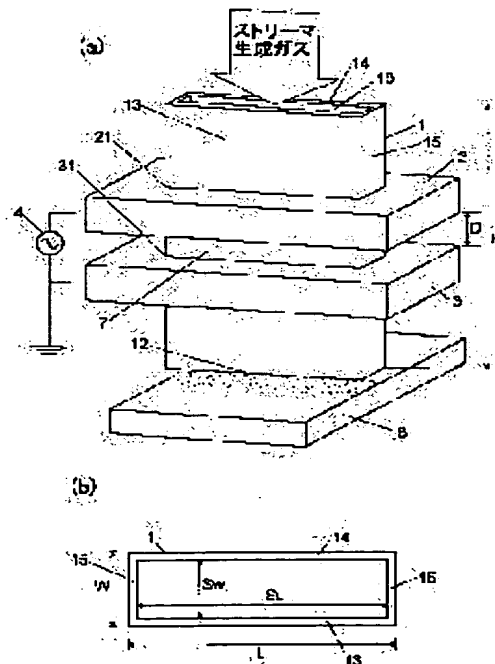
Priority country : JP

## (54) PLASMA PROCESSING SYSTEM AND PLASMA PROCESSING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma processing system and a plasma processing method by which the surface of an article to be processed can be subjected to uniform plasma processing at a high processing rate.

SOLUTION: The plasma processing system comprises a tubular container having a laterally elongated cross-section, a pair of electrodes, means for supplying streamer generating gas into the tubular container, a power supply for applying an AC voltage or a pulse voltage between the electrodes in order to generate a plurality of streamers in the tubular container under the atmospheric pressure or thereabout, and means for making uniform the plurality of streamers in the lateral direction on the laterally elongated cross-section of the tubular container. Uniform plasma thus generated is jetted from one end of the tubular container and the surface of an article to be processed is processed uniformly at a high processing rate.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

14.05.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]



[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3440941

[Date of registration]

20.06.2003

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-93768

(P2002-93768A)

(43)公開日 平成14年3月29日(2002.3.29)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト <sup>7</sup> (参考)
H 0 1 L 21/304	6 4 5	H 0 1 L 21/304	6 4 5 C 4 G 0 7 5
B 0 1 J 19/08		B 0 1 J 19/08	H 5 F 0 0 4
H 0 1 L 21/3065		H 0 5 H 1/46	M
H 0 5 H 1/46		H 0 1 L 21/302	N

審査請求 有 請求項の数26 O L (全 28 頁)

(21)出願番号 特願2001-143712(P2001-143712)

(22)出願日 平成13年5月14日(2001.5.14)

(31)優先権主張番号 特願2000-169571(P2000-169571)

(32)優先日 平成12年6月6日(2000.6.6)

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000005832

松下電工株式会社

大阪府門真市大字門真1048番地

(72)発明者 猪岡 結希子

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)発明者 山崎 圭一

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(74)代理人 100087767

弁理士 西川 恵清 (外1名)

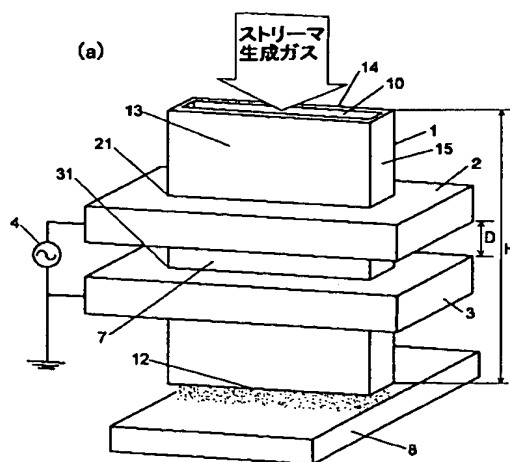
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

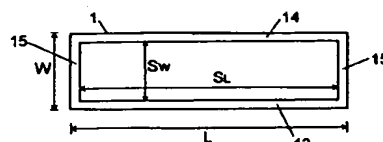
(57)【要約】

【課題】 被処理物表面に高処理速度で均一にプラズマ処理を施すことが可能なプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供する。

【解決手段】 プラズマ処理装置は、横長断面を有する筒状容器と、一対の電極と、ストリーマ生成ガスを筒状容器内に供給するガス供給手段と、筒状容器内に大気圧もしくはその近傍の圧力下で複数のストリーマを生成するために電極間に交流電圧又はパルス電圧を印加する電源と、筒状容器の横長断面の横方向において複数のストリーマを均一化するプラズマ均一化手段とを具備する。得られた均一なプラズマは筒状容器の一端から噴射され、被処理物の表面を高処理速度で均一に表面処理する。



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 以下の構成を具備することを特徴とするプラズマ処理装置：横長断面を有し、一端にガス導入口および他端にプラズマ放出口を有する電気絶縁材料製の筒状容器；一对の電極、前記一对の電極は交流電圧及びパルス電圧のいずれかを電極間に印加する時、筒状容器の略軸方向に電気力線が形成されるように筒状容器のまわりに配置される；前記ガス導入口を介してストリーマ生成ガスを前記筒状容器内に供給するガス供給手段；前記筒状容器内に前記ガスの複数のストリーマを生成するために前記電極間に交流電圧及びパルス電圧を印加するための電源；および前記筒状容器の横長断面の横方向において前記複数のストリーマを均一化するプラズマ均一化手段。

【請求項2】 上記プラズマ均一化手段は、ガス導入口の開口面積をガス導入口直下における筒状容器の断面積よりも小さくするように形成した上記筒状容器によって提供されることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 上記プラズマ均一化手段は、上記筒状容器内に配置され、筒状容器内にストリーマ生成ガスの乱流を形成可能な形状を有する乱流生成部材であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 上記プラズマ均一化手段は、上記横長断面が1～5mmの内部幅寸法を有するように形成された筒状容器によって提供されることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 上記一对の電極は、一对のリング状電極であって、一方の電極が上記筒状電極の軸方向に2mmもしくはそれ以上、20mm未満の距離で他方の電極から離して上記筒状電極のまわりに配置されることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 被処理物上におけるプラズマ処理効果の均一性を高める処理効果均一手段をさらに具備することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 上記処理効果均一手段は、被処理物の被処理面の凹凸に基づいて筒状容器の高さ寸法を前記筒状容器の横長断面の横方向において変化させた上記筒状容器によって提供されることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 上記処理効果均一手段は、プラズマ放出口から放出されるストリーマ生成ガスが被処理物の被処理面の凹凸形状に基づいて決定される流速分布を有するように形成した少なくとも2個以上のガス導入口を有する上記筒状容器によって提供されることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 上記処理効果均一手段は、上記筒状容器の軸方向に垂直な断面積がその軸方向において変化するよう形成された上記筒状容器によって提供されることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 上記筒状容器は、台形状の一对の前壁および後壁と一对の側壁とで形成されることを特徴とする請求項9に記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】 上記処理効果均一手段は、プラズマ放出口から放出されるストリーマ生成ガスが被処理物の被処理面の凹凸に基づいて決定される流速分布を有するようにその内表面に粗面化領域を設けた上記筒状容器によって提供されることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

10 【請求項12】 上記処理効果均一手段は、プラズマ放出口から放出されるストリーマ生成用ガスが被処理物の被処理面の凹凸に基づいて決定される流速分布を有するように形成した筒軸方向に垂直な断面形状を有する上記筒状容器によって提供されることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】 上記筒状容器は、筒状容器の軸方向に垂直な断面積がプラズマ放出口に向かって徐々に減少するように台形状の一对の前壁および後壁と一对の側壁とで形成され、筒軸方向と前記側壁のなす角度が2～30度の範囲内であることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】 上記筒状容器の横長断面は、その中心から横方向にその両端に向かって広がる幅を有し、中心幅（SWC）と端部幅（SWE）の比が $0.8 \leq \text{SWC} / \text{SWE} < 1$ であることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理装置。

20 【請求項15】 上記筒状容器内において上記複数のストリーマの生成を開始させるためのプラズマ点火手段をさらに具備することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

30 【請求項16】 一端にガス導入口および他端にプラズマ放出口を有し、横長断面を有する電気絶縁材料製の筒状容器にストリーマ生成ガスを供給するステップと、前記筒状容器の略軸方向に電気力線が形成されるように配置された一对の電極間に、交流電圧及びパルス電圧のいずれかを印加して大気圧もしくはその近傍の圧力下で前記筒状容器内に複数のストリーマを生成するステップと、前記筒状容器の横長断面の横方向において前記複数のストリーマを筒状容器内に均一に分散させるステップと、前記筒状容器のプラズマ放出口から提供されるプラズマで被処理物を処理するステップとを具備することを特徴とするプラズマ処理方法。

40 【請求項17】 上記複数のストリーマを均一化するステップは、上記筒状容器内のストリーマ生成ガスの流れが非放電時において1700もしくはそれ以上のレイノルズ数を有するようにストリーマ生成ガスを筒状容器に供給することにより実施されることを特徴とする請求項16に記載のプラズマ処理方法。

50 【請求項18】 上記複数のストリーマを均一化するステップは、ストリーマ生成用ガスの前記筒状容器の軸方

向におけるガス流速が5 m/秒もしくはそれ以上となるようにストリーマ生成ガスを筒状容器に供給することにより実施されることを特徴とする請求項16に記載のプラズマ処理方法。

【請求項19】 上記ストリーマ生成ガスは、希ガスを含有することを特徴とする請求項16に記載のプラズマ処理方法。

【請求項20】 上記希ガスは、アルゴンであることを特徴とする請求項19に記載のプラズマ処理方法。

【請求項21】 上記ストリーマ生成ガスは、アルゴンガスを3.0体積%もしくはそれ以上含有することを特徴とする請求項20に記載のプラズマ処理方法。

【請求項22】 上記ストリーマ生成ガスは、酸素換算で1体積%もしくはそれ以上の酸化性ガスを含有することを特徴とする請求項16に記載のプラズマ処理方法。

【請求項23】 上記ストリーマ生成ガスは、1体積%もしくはそれ以上の水素を含有することを特徴とする請求項16に記載のプラズマ処理方法。

【請求項24】 上記ストリーマ生成ガスは、3体積%もしくはそれ以上のヘリウムを含有することを特徴とする請求項16に記載のプラズマ処理方法。

【請求項25】 以下の構成を具備することを特徴とするプラズマ処理装置：一端にガス導入口および他端にプラズマ放出口を有する電気絶縁材料製の筒状容器；一对の電極；前記ガス導入口を介してプラズマ生成ガスを前記筒状容器内に供給するガス供給手段；前記筒状容器内に前記ガスのプラズマを生成するために前記電極間に交流電圧及びパルス電圧のいずれかを印加するための電源；および被処理物上におけるプラズマ処理効果の均一性を高める処理効果均一手段。

【請求項26】 筒状容器内に大気圧もしくはその近傍の圧力下で発生させた複数のストリーマを筒状容器の軸方向に垂直な方向において均一化することによって得られるプラズマで被処理物を処理するためのプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子部品や半導体部品の表面洗浄や表面改質、具体的には、BGA (Ball Grid Array)、CSP (Chip Size Package) のボンディング部の洗浄によるボンディング強度の改善や封止材との密着性改善、液晶パネルの洗浄、液晶パネルとAGF (Anisotropic Conductive Film)との接合性改善、フィルム状基板の印刷性、接着性改善、レジストアッシング、金属電極の酸化被膜の還元除去によるボンディング性改善等の多方面に応用できるプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、被処理物に表面処理を施すために大気圧プラズマが利用されている。例えば、大気圧下で

生成したプラズマジェットを用いた被処理物の表面処理については、特開平3-219082号公報、特開平4-212253号公報、特開平4-334543号公報および特開平6-108257号公報等に開示されている。これらの表面処理によれば、被処理物上の所定領域のみを正確にプラズマジェットで処理することができ

る。【0003】さらに、幅広のプラズマジェットで大表面積被処理物を効率よく処理する方法が、特開平4-358076号公報や特開平9-232293号公報に記載されている。特開平4-358076号公報は、電極を、誘電体を挟むように対向させて配置し、電極間に高周波電力を印加することにより大気圧下で希ガスの安定なグロー放電を生成し、得られたライン状のプラズマジェットを被処理物上に噴射するものである。一方、特開平9-232293号公報は、ガス流路の上流と下流に、扁平な筒状の放電管の外周面に沿うよう的一对の電極を配置し、放電管の一端からライン状プラズマジェットを噴射するものである。

【0004】しかし、BGA (Ball Grid Array) やフィルムなどの相対的に大きな処理面積を有する被処理物にプラズマジェットをスポット照射する場合は、被処理物の処理面全体にわたってプラズマジェットをスキャンさせる必要があり、プラズマ処理の効率が低下するという問題がある。また、安定なグロー放電でなる線状のプラズマジェットを表面処理に用いる場合は、処理効率をある程度改善することが可能であるが、グロー放電プラズマの電流密度が相対的に低く、プラズマ中のラジカルやイオンなどの活性種密度が低くなるため、大表面積被処理物を処理するには依然として処理速度が十分とは言えないものであった。

【0005】ところで、グロー放電とは、比較的電流密度が低く、発光輝度が低い時間的、空間的に均一な放電とされている。グロー放電とは異なる放電状態として、比較的電流密度が高く、グロー放電に比べて発光輝度の高いフィラメント状の不安定な放電であるストリーマ(放電)がある。ストリーマの高い電流密度は活性種密度の高い放電を提供するため、処理速度を大幅に速くできる可能性を秘めている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、ストリーマの不均一な放電状態は処理効果のバラツキを招きやすい。すなわち、放電空間におけるストリーマ発生箇所の下流側の処理速度はストリーマの未発生箇所の下流側での処理速度よりも著しく早くなる。この処理速度の差によって生じる処理効果のばらつきが、ストリーマの表面処理技術への実用的な利用を妨げる主たる原因となっていた。

【0007】また、プラズマ生成容器内で生成されたプラズマ放電中の活性種は、大気中に放出されると、大気

中の窒素や酸素と再結合を起こし、大部分が失活してしまう。この時、活性種が被処理物表面に到達するまでの時間が長いほど、更には、プラズマジェットと大気との接触面積が大きいほど、活性種は失活しやすく、プラズマジェットによる被処理物の処理効果が損なわれやすい。従って、プラズマジェットが横長断面を有する形状で提供される場合、その横方向における端部はその中央より大気との接触面積が大きいので、処理効果が低下しやすい。さらに、被処理物表面に凹凸があるものをプラズマ処理する場合、前記した横方向における処理効果の差に加え、凹部と凸部の処理表面へのプラズマジェットの到達時間の差による処理効果のばらつきが生じるため、処理表面内における処理ムラがさらに生じやすくなる。このような処理ムラが発生すると、接合信頼性が低下するなど被処理物の性能低下の原因となる。このように、被処理物表面におけるプラズマ処理効果の均一性を改善することがまた望まれている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記事実を鑑みて、本発明は、放電空間内におけるストリーマの分布均一性の向上を図り、高い処理速度で被処理物を均一に表面処理するという目的を装置とプロセスの両側面において達成し、ストリーマを使用したプラズマ表面処理の実用化に成功したものである。したがって、本発明の第1の目的は、上記目的を実現可能なプラズマ処理装置を提供することにある。

【0009】すなわち、そのプラズマ処理装置は、横長断面を有し、一端にガス導入口および他端にプラズマ放出口を有する電気絶縁材料製の筒状容器；一对の電極、前記一对の電極は交流電圧及びパルス電圧のいずれかを電極間に印加する時、筒状容器の略軸方向に電気力線が形成されるように筒状容器のまわりに配置される；前記ガス導入口を介してストリーマ生成ガスを前記筒状容器内に供給するガス供給手段；前記筒状容器内に前記ガスの複数のストリーマを生成するために前記電極間に交流電圧及びパルス電圧を印加するための電源；前記筒状容器の横長断面の横方向において前記複数のストリーマを均一化するプラズマ均一化手段を含むことを特徴とするものである。

【0010】本発明においては、上記プラズマ均一化手段として、(1)ガス導入口の開口面積をガス導入口直下における筒状容器の断面積よりも小さくするように形成した筒状容器を用いること、(2)上記横長断面が1〜5mmの内部幅寸法を有するように形成した筒状容器を用いること、(3)筒状容器内にストリーマ生成ガスの乱流を形成可能な形状を有する乱流生成部材を配置すること、のいずれかを採用することが好ましい。

【0011】本発明の第2の目的は、上記目的を達成可能なプラズマ処理方法を提供することである。

【0012】すなわち、本発明のプラズマ処理方法は、

一端にガス導入口および他端にプラズマ放出口を有し、横長断面を有する電気絶縁材料製の筒状容器にストリーマ生成ガスを供給するステップと、前記筒状容器の略軸方向に電気力線が形成されるように配置された一对の電極間に、交流電圧及びパルス電圧のいずれかを印加して大気圧もしくはその近傍の圧力下で前記筒状容器内に複数のストリーマを生成するステップと、前記筒状容器の横長断面の横方向において前記複数のストリーマを筒状容器内に均一に分散させるステップと、前記筒状容器のプラズマ放出口から提供されるプラズマで被処理物を処理するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0013】本発明においては、上記複数のストリーマを均一化するステップは、筒状容器内のストリーマ生成ガスの流れが非放電時において1700もしくはそれ以上のレイノルズ数を有するようにストリーマ生成ガスを筒状容器に供給すること、もしくはより具体的にストリーマ生成用ガスの筒状容器の軸方向におけるガス流速が5m/秒もしくはそれ以上となるようにストリーマ生成ガスを筒状容器に供給することにより実施することが好ましい。

【0014】本発明のさらなる目的は、被処理物表面上におけるプラズマ処理効果の均一性の向上を図るため、プラズマジェットの被処理面への到達時間を制御することによって被処理物の処理表面全域に亘って均一なプラズマ処理を行うための処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置を提供することにある。すなわち、本発明のプラズマ処理装置は、一端にガス導入口および他端にプラズマ放出口を有する電気絶縁材料製の筒状容器、一对の電極、ガス導入口を介してプラズマ生成ガスを筒状容器内に供給するガス供給手段、筒状容器内に前記ガスのプラズマを生成するために電極間に交流電圧及びパルス電圧のいずれかを印加するための電源、および被処理物上におけるプラズマ処理効果の均一性を高める処理効果均一手段とを具備することを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明のプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法について詳細に説明する。

【0016】本発明は、筒状容器内に大気圧もしくはその近傍の圧力下で発生させた複数のストリーマを筒状容器の軸方向に垂直な方向において均一化することによって得られるプラズマで被処理物を処理するためのプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供するものである。放電空間内において複数のストリーマを均一に分布させることに成功したので、得られたプラズマによって高処理速度で且つ均一に被処理物を表面処理することが可能となった。

【0017】本発明のプラズマ処理装置の一例を図1に示す。このプラズマ処理装置は、内部に放電空間が定義される筒状容器1、筒状容器の周囲に配置される一对の電極2、3、筒状容器内にストリーマ生成ガスを供給す

10

20

30

40

50



るためのガス供給ユニット(図示せず)、電極間に交流もしくはパルス電圧を印加して複数のストリーマを筒状容器内に生成するための電源4、および放電空間7内の複数のストリーマを均一化するプラズマ均一化手段とを具備する。

【0018】筒状容器1は、例えば、石英ガラス、アルミナ、イットリア、ジルコニウムなどのガラス質材料やセラミック材料などの高融点の絶縁材料(誘電体材料)で形成することができる。図1(a)の筒状容器1は、上端にガス導入口10、下端にプラズマ放出口12を有する矩形筒形状を有し、互いに平行に延出する一対の前壁13および後壁14と、互いに平行に延出する一対の側壁15とで構成される。図1(b)に示すように、筒状容器1の軸方向に垂直な断面は、長さ(L)と幅(W)を有する矩形形状である。横長断面を有する筒状容器1とするために、長さ(L)は幅(W)より大きく設計されている。尚、図1(b)において、“SW”は筒状容器の内部幅寸法であり、本明細書ではスリット幅と呼んでいる。また、“SL”は、筒状容器の内部長さ寸法(=筒状容器の横長断面の横方向における内寸)であり、本明細書ではスリット長さと呼んでいる。“H”は、筒状容器の高さ寸法である。筒状容器1の前壁13、後壁14および側壁15に囲まれた内空間が放電空間7として使用される。ストリーマ生成ガスは、ガス導入口10を介して筒状容器1内に導入され、プラズマ放出口12から外部に噴射される。

【0019】電極2、3は、交流電圧もしくはパルス電圧を電極間に印加する時、筒状容器1の略軸方向に電気力線が形成されるように配置される。これらの電極は、銅、アルミニウム、真鍮、耐食性の高いステンレス鋼(SUS304など)などの導電性の金属材料で形成されている。また、これらの電極2、3の各々は、矩形開口21、31を有する矩形リング形状を有し、矩形開口に筒状容器1を挿入可能である。矩形開口は、矩形開口内において筒状容器1が電極2、3に良好にフィットするように形成されることが好ましい。尚、電極と筒状容器の間のクリアランスについては特に限定されるものではない。放電空間7は、筒状容器1内で且つ電極2、3間に位置する。図1の装置においては、電極2が電源4に電氣的に接続されて高圧電極として機能し、電極3が接地されて低圧電極として機能する。

【0020】尚、電極2、3はプラズマ放出口12の近傍に配置するのが好ましい。放電空間7と被処理物8との間の距離が縮まって処理速度を向上させることができる。但し、電極をプラズマ放出口12に近づけすぎると、放電空間と被処理物との間の距離が近くなりすぎて被処理物8との間でアークが発生する恐れがある。したがって、アークが発生しない程度に電極2、3をプラズマ放出口12に近接させることが好ましい。また、被処理物への熱的なダメージを抑えるために、電極の内部に

冷却水を流すなどして放電空間の温度を下げることも好ましい。

【0021】ところで、電極2、3を介して筒状容器1内の放電空間7に交流あるいはパルス状の電界を印加することによって発生する電気力線hの長さで定義される放電パスが長くなるほど、放電空間でストリーマが発生しやすい。従って、図2(a)に示すように、筒状容器1の軸方向に後述する所定距離によって互いから離れるように電極2、3を配置すると、放電パスが長くなってストリーマが発生しやすくなる。一方、図2(b)に示すように、筒状容器1の両側に一対の電極2、3を配置すると、放電パスが短くなってグロー放電が生成されやすくなる。また、ストリーマ生成ガスを電気力線hと略平行方向に流すことで多数のストリーマを同時発生させやすくなる。

【0022】本発明においては、多数のストリーマをほぼ同時に且つ継続的(連続的)に筒状容器1内に発生させるため、電極2、3間の距離Dを2mmもしくはそれ以上とすることが好ましい。この場合は、電流密度の疎の領域と密の領域(この密の領域がストリーマに相当する)を多数の箇所発生させて複数のストリーマの同時且つ継続的な生成を促進することができる。この電極間距離Dが2mm未満になると、放電パスが短くなってストリーマの数が減少する恐れがあり、しかも筒状容器1の外側において電極2、3間に火花放電が起こり、放電空間内に放電が起こらなくなる恐れがある。また、より多数のストリーマを発生させるため、電極間距離Dを5mm以上20mm未満とすることが好ましい。電極間距離Dが20mm以上となると、放電開始電圧が大きくなって放電を開始させ難くなる傾向がある。

【0023】本発明のプラズマ均一化手段は、筒状容器1の横長断面の横方向(図1(b)の長さ(L)方向)において複数のストリーマを均一化するためのものである。本発明においては、プラズマ均一化手段として、下記の(1)～(3)のいずれかを使用することが好ましい。

【0024】(1)プラズマ均一化手段を具備する筒状容器として、図3(a)～(c)に示すように、ガス導入口10の開口面積が筒状容器1のガス導入口側直下の断面積よりも小さくなるように形成した筒状容器1を使用することが好ましい。この場合、ガス導入口10の中心が筒状容器1の軸上に位置するようにガス導入口10を設けることが特に好ましい。

【0025】このような構成の筒状容器1を使用した場合、ストリーマ生成ガスはガス導入口10から下流側に向かって放射状(図4中の矢印方向)に拡散しながら放電空間7に流れ込む。この時、筒状容器の内空間9には渦流が発生する。この渦流によりストリーマ生成ガスが放射状に流れやすくなり、電気力線に略平行でないガス流成分の割合が多くなってストリーマはより均一に発生す

る。

【0026】図3(a)のような構造の筒状容器を使用したプラズマ処理装置では、図5(a)に示すように、非放電時での筒状容器のプラズマ放出口12直下におけるガス流速は、筒状容器の略中央において最も速くなり、端部に向かうほど徐々に遅くなる流速分布となる。

図5(a)に示すような流速分布を有するストリーマ生成ガスを放電中の放電空間に供給する場合は、図5

(b)に示すようにプラズマジェットの流速が筒状容器1の横長断面の横方向で均一な分布になる。これは、放電時の放電空間内は圧力が高く、ガスの流れに対する抵抗が大きくなるため、ガスが放電空間に侵入する時、放電空間の中央から端部へと流れ込むガス成分が増加するためであると考えられる。

【0027】このような場合に、ストリーマの生成を放電空間7において筒状容器1の横長断面の横方向における全域に亘って均一にするには、ストリーマ生成ガスの平均流速を高めて筒状容器内にガスの乱流成分を発生させる必要がある。そこで、上記したような開口面積の小さいガス導入口10を有する筒状容器を使用すること

で、供給するストリーマ生成ガスの量を増やすことなく放電空間に乱流成分を容易に発生させることが可能となり、結果的に、プラズマ処理に必要なストリーマ生成ガスの消費量を節約してランニングコストを低減するとともに、放電空間内におけるストリーマの均一性を改善することに成功したのである。

【0028】尚、ガス導入口1の開口面積が狭いほど、放電空間にストリーマ生成ガスの乱流成分を多く発生させることができるが、放電空間の中央でストリーマ生成ガスの流速が過剰に速くなると、放電空間中央のプラズマが吹き消されて均一な処理が行えなくなる恐れがある。また、図6(a)及び(b)に示すように、ガス導入口10と放電空間7との間の距離が長くなるほど、生成された渦流の影響が放電空間7に到達し難くなる。その結果、電気力線に略平行なガス流成分が支配的となり、ガス導入口10の開口を小さくした効果が減少する恐れがある。したがって、ガス導入口10の開口面積と筒状容器1のガス導入口側直下の断面面積の比をガス流量等のプラズマ処理条件に応じて適宜変更できるように、ガス導入口の開口面積を調整可能な開口面積調節手段を筒状容器に設けることも好ましい。

【0029】具体的には、図3(b)および(c)に示すように、筒状容器1のガス導入口側直下の断面面積 $S_1$ と、ガス導入口の開口面積 $S_2$ との比率 $S_2/S_1$ は、 $0.125 < S_2/S_1 < 0.75$ であることが好ましい。比率 $S_2/S_1$ が $0.125$ 以下の場合、ガス導入口10での流速が大きくなりすぎるため、放電空間略中央のプラズマがガス流によって吹き消され、ストリーマの均一性が低下する恐れがある。また、比率 $S_2/S_1$ が $0.75$ 以上の場合、ガス流量が一定の時、ガス導

入口10におけるガス流速が比較的小さくなるため、渦流が下流側に発達しない恐れがある。

【0030】(2)プラズマ均一化手段として、図7に示すように、筒状容器内にストリーマ生成ガスの乱流を形成可能な形状を有する乱流生成部材6を配置することが好ましい。図7においては、略三角柱の乱流生成部材6が放電空間1内で対向する側壁15間の略中央位置で、且つ放電空間7の上方に配置されている。非放電時にガス導入口10から導入されたストリーマ生成ガスは、乱流生成部材6の下流側の空間17で渦流を形成する。この渦流により、電気力線と略平行な方向だけではなく無秩序な方向性を有するガス流成分が多数生じる。この結果、放電空間において前記横方向の全域に亘ってストリーマがほぼ均一に分散して発生し、プラズマ放出口12を介して均一なプラズマを提供することが可能となる。

【0031】乱流生成部材6は、放電空間7の中に配置しても、また放電空間7の上側に配置しても構わないが、ガス乱流成分を含む渦流発生域の一部が放電空間7中に存在するように配置することが重要である。尚、乱流生成部材の形状はストリーマ生成ガスの供給量や筒状容器の形状、被処理物の形状等に応じて適宜設計される。

【0032】(3)プラズマ均一化手段を具備する筒状容器として、筒状容器1の前壁13と後壁14との間の距離(スリット幅(SW))を $1 \sim 5 \text{ mm}$ に形成することが望ましい。すなわち、図1に示す筒状容器を使用したプラズマ処理装置において、スリット幅を $1 \sim 5 \text{ mm}$ とすると、ストリーマ生成ガスの供給量を増やすことなく、放電空間7におけるストリーマ生成ガスの平均流速を増加させることができる。これにより、ガス乱流成分の生成量が多くなる。スリット幅が $1 \text{ mm}$ より小さいと、放電空間の体積が減少するため、相対的に放電空間のインピーダンスが増加する。インピーダンスの増加は、放電空間に投入される有効電力の減少を招くので、プラズマの生成効率が低下し、結果的にプラズマ処理効果が低下する恐れがある。一方、スリット幅が $5 \text{ mm}$ より大きくなると、筒状容器1内でのガス流速を高速にするためには、多量のストリーマ生成ガスを供給する必要があるため、プラズマ表面処理のコストパフォーマンスが低下する恐れがある。また、放電空間7への印加電力が一定の場合、スリット幅が広がるほど、放電空間7の単位体積当たりの電力量(パワー密度)が低下するので、十分な処理速度が得られなくなる可能性がある。

【0033】尚、図3に示す装置においては、ガス導入口10の開口面積を小さくしたことに加えて、スリット幅を $1 \sim 5 \text{ mm}$ の範囲内とすることによってプラズマ均一化手段の相乗効果を提供することが可能である。この場合は、ガス導入口10における平均速度が増加し、渦流発生領域が筒軸方向の下流側に伸びるため、乱流成分

を放電空間に安定して供給しやすくなる。同様に、図7に示す装置において、乱流生成部材6を筒状容器内に配置することに加えて、スリット幅を1～5mmの範囲内とすることによってプラズマ均一化手段の相乗効果を提供することが可能である。この場合も、ストリーマ生成ガスの平均速度を増加させ、乱流生成部材6の下流側に形成される渦流領域を広げ、より一層ガス乱流成分を放電空間7に形成しやすくなる。

【0034】本発明のプラズマ処理装置は、被処理物の被処理面が平坦でないような場合でも、被処理面上のプラズマ処理効果の均一性を高めることができる処理効果均一手段をさらに具備することが好ましい。すなわち、処理効果均一手段は、横長断面を有するプラズマジェット

の横方向における被処理物表面へのプラズマ到達時間分布を制御するため、横方向におけるプラズマジェットの流速制御、もしくは筒状容器のプラズマ放出口12と被処理物8表面との距離（以下、照射距離と記す場合がある）の制御を行うものである。

【0035】処理効果は、図8に示すように照射距離が大きくなる程、指数関数的に減衰する性質がある。一方、被処理物が導電性を有する場合は、照射距離が小さいとプラズマジェットと被処理物の間でアークが発生しやすくなる。そのため、ある程度の照射距離を確保する必要がある。このように、プラズマ処理効果の均一性のさらなる向上を図るためには、被処理面の形状および被処理物の性質に応じてより最適な処理効果均一手段を選択する必要がある。

【0036】そこで、本発明においては、以下の処理効果均一手段(a)～(g)のいずれか、もしくは必要に応じてそれらを併用して使用することが好ましい。

【0037】(a) 処理効果均一手段を具備した筒状容器1として、被処理物の被処理面の凹凸に基づいて、筒状容器の高さ(H)を筒状容器の横長断面の横方向において変化させた筒状容器を使用することが好ましい。

【0038】一例として、図9に示すように、筒状容器の筒軸方向の高さ(H)が筒状容器の横方向の略中央(H<sub>c</sub>)から両端部(H<sub>e</sub>)へ向かうにつれて増加するように形成された筒状容器1を使用することができる。この場合は、被処理物が平坦な場合に照射距離を大きく取ったとしても、あるいは、被処理物表面の端部がくぼんだ凸形状(図9)であっても、処理効果均一手段を具備していない筒状容器と比べると、プラズマジェットの端部において活性種の失活を抑制することができ、より均一なプラズマ処理を実施することができる。

【0039】また、図10に示すように、筒状容器1の筒軸方向の高さ(H)が筒状容器の横方向の略中央(H<sub>c</sub>)から両端部(H<sub>e</sub>)に向かうにつれて減少するように形成された筒状容器1を使用しても良い。この場合は、被処理物が平坦な場合に照射距離を大きく取ったとしても、あるいは、被処理物表面の中央がくぼんだ凹形

状(図10)であっても、処理効果均一手段を具備していない筒状容器と比べると、プラズマジェットの中央において活性種の失活を抑制することができ、より均一なプラズマ処理を実施することができる。尚、筒状容器の筒軸方向の高さ(H)は、被処理物の形状に合わせて適宜決定される。

【0040】(b) 処理効果均一手段を具備した筒状容器として、プラズマ放出口12から放出されるストリーマ生成ガスが、被処理物の被処理面の凹凸形状に基づいて決定される流速分布を有するように形成した少なくとも2個以上のガス導入口を有する筒状容器を使用することが好ましい。

【0041】一例として、図11に示すように、筒状容器1の上面において筒状容器の中心線に対して線対称にガス導入口10を2箇所設けても良い。この場合は、非放電時のプラズマ放出口12直下でのストリーマ生成ガスは、図12に示すような流速分布を有することになる。すなわち、プラズマジェット端部のガス流速が増加し、プラズマジェット端部の被処理物への到達時間が短縮される。よって、被処理物表面が平坦な場合に照射距離を大きく取ったとしても、あるいは図11に示すように被処理物表面の略中央部が突出した凸形状であっても均一にプラズマ処理することが可能となる。尚、各々のガス導入口の位置や面積およびガス導入口の数は、被処理物の形状等に応じて適宜設定可能である。

【0042】(c) 処理効果均一手段を具備した筒状容器として、筒状容器1の軸方向に垂直な断面がその軸方向において変化するように形成された筒状容器を使用することが好ましい。

【0043】一例として、筒状容器の軸方向に垂直な断面面積(以下、スリット断面積と呼ぶ)がプラズマ放出口12に向かって徐々に増加するように台形状の一对の前壁および後壁13、14と矩形形状の一对の側壁15とで形成された筒状容器1を図13に示す。この場合は、筒状容器1内において、筒状容器の横長断面の横方向における略中央から端部に向かって拡散するガスの流れ込みが少なくなり、プラズマジェットの中央部の被処理物への到達時間が短縮される。これにより、図13に示すように、被処理物表面の略中央部がくぼんだ凹形状であっても均一にプラズマ処理することが可能となる。

尚、プラズマジェットの中央部の流速は、筒状容器の軸方向と側壁15とのなす角度として定義される壁面傾斜角によって調節することができ、壁面傾斜角が大きいほど略中央部流速は速くなる。

【0044】(d) 処理効果均一手段を具備した筒状容器として、プラズマ放出口12から放出されるストリーマ生成ガスが、被処理物の被処理面の凹凸に基づいて決定される流速分布を有するようにその内表面に粗面化領域を設けた筒状容器を使用することが好ましい。

【0045】一例として、筒状容器1の前壁13と後壁

14 の内表面において、筒状容器の横長断面の横方向における略中央から左右両方向に所定距離にわたって、且つガス導入口10直下からプラズマ放出口12直上にいたる垂直距離にわたって粗面化領域16を有する筒状容器1を図14(a)および(b)に示す。この場合は、粗面化領域16はガス流に対する抵抗となるため、ガス流は粗面化領域16を回避するように図14(a)の矢印方向に流れやすくなる。その結果、筒状容器1の端部におけるガス流速が増加し、横方向の両端部においてプラズマジェット1の被処理物への到達時間を短縮することができる。これにより、被処理物表面が平坦なものをプラズマ処理する場合に照射距離を大きく取ったとしても、あるいは図14(a)に示すように、被処理物表面の両側部がくぼんだ凸形状であっても均一にプラズマ処理することが可能となる。尚、筒状容器の内表面に形成される粗面化領域の数、表面積、および位置は、被処理物の形状等に応じて任意に設定可能である。

【0046】(e) 処理効果均一手段を具備した筒状容器として、プラズマ放出口12から放出されるストリーマ生成用ガスが、被処理物の被処理面の凹凸に基づいて決定される流速分布を有するように形成した筒軸方向に垂直な断面形状を有する筒状容器を使用することが好ましい。

【0047】一例として、筒状容器の横長断面における開口幅(スリット幅(SW))が、筒状容器の横長断面の横方向において端部から略中央に向かって徐々に増加するように形成した筒状容器を図15(a)および(b)に示す。この場合は、ストリーマ生成ガスは、ガスの流れに対する抵抗が小さい領域へ流れ込む性質を持っているため、大きな中心幅を有する筒状容器の略中央

のガス流速が増加し、プラズマジェット中央部の被処理物への到達時間が短縮される。これにより、図15

(a)に示すように、被処理物表面の略中央部がくぼんだ凹形状であっても、プラズマ中の活性種が失活する前に凹形状の底部に到達させることができ、結果として均一なプラズマ処理を提供することが可能となる。尚、図15(c)~(g)に筒状容器の断面形状の他例を示す。

【0048】(f) 処理効果均一手段を具備した筒状容器として、筒状容器の軸方向に垂直な断面がプラズマ放出口12に向かって徐々に減少するように台形形状の一对の前壁13、後壁14と矩形形状の一对の側壁15とで形成され、筒軸方向と側壁のなす角度が2~30度の範囲内である筒状容器を使用することが好ましい。

【0049】この筒状容器の一例を図16に示す。この場合は、ストリーマ生成ガスは、図16(b)の矢印で示すように放射状に拡散しながら下流へ流れる。そして、筒状容器の壁面付近のガス流は壁面の傾斜の影響を受けてプラズマ放出口12に向かって集束する。その結果、プラズマジェット端部のガス流速が増加し、プラズ

マジェット端部の被処理物への到達時間が短縮される。これにより、被処理物表面が平坦なものをプラズマ処理する場合に照射距離を大きくしても、あるいは図16(a)に示すように、被処理物表面の略中央部が突出した凸形状であっても均一にプラズマ処理することが可能となる。

【0050】尚、プラズマジェットの横方向における流速分布は筒軸方向と側壁のなす角度 $\theta$ によって調節することができ、上記のようにプラズマジェット端部の流速を大きくするには、筒軸方向と側壁のなす角度である壁面傾斜角 $\theta$ が2~30度になるように形成することが好ましい。角度 $\theta$ が2度未満の場合、壁面のガス集積効果が小さくなるため、プラズマジェット端部のガス流速を十分に増加させることができない恐れがある。また、角度 $\theta$ が30度より大きい場合、放電空間体積が増加するため、ストリーマ生成ガスの供給量を増加させる必要がある。これはガスコストの増加を招くので、この観点から角度 $\theta$ を30度以下に設定することが好ましい。

【0051】この形態の筒状容器1を使用する場合のさらなる長所としては、プラズマジェットから被処理物へのアーク放電が生じにくいことを挙げることができる。したがって、導電性を有する被処理物をプラズマ処理する場合には特に適している。これは、プラズマジェットと被処理物の間で生じるアーク放電は、筒状容器の幅狭壁面に沿って輝度の高い放電(以下、沿面放電)が存在する場合に発生しやすい。沿面放電については十分に解明されていないが、図16に示すような筒状容器を使用した場合は、ストリーマ生成ガスがガス導入口10から放射状に拡散し、その一部が側壁15に到達する時、ガス流の方向と傾斜した壁面が成す角度 $\alpha$ は、矩形の筒状容器(図16(b)において点線で表示)を使用した場合の角度 $\beta$ よりも大きくなる。その結果、側壁15の極表面に生じる速度境界層の厚みが薄くなり、側壁15の極表面で生成されたプラズマ活性種、特にイオンは、速度境界層外に流出しやすくなる。更に、速度境界層の厚みが薄くなるため、速度境界層の外側を流れる比較的速度の速いガス流によって、側壁15の表面は熱交換されやすい。したがって、速度境界層内に滞在するイオン密度の低下と側壁15における冷却効果によって、図16に示す筒状容器では沿面放電が生じにくくなり、結果的にアーク放電が生じにくくになると考えられる。

【0052】(g) 処理効果均一手段を具備した筒状容器として、筒状容器の横長断面がその中心から横方向にその両端に向かって広がる幅を有し、中心幅(SWC)と端部幅(SWE)の比が $0.8 \leq SWC/SWE < 1$ である筒状容器を使用することが好ましい。

【0053】この筒状容器の一例を図17(a)および(b)に示す。この場合は、ストリーマ生成ガスはガスの流れに対してより抵抗の小さい領域へ流れ込む性質を持っているため、プラズマジェットの端部でのガス流速

が略中央部よりも増加し、両端部でのプラズマジェット  
の被処理物への到達時間が短縮され、プラズマ活性種が  
失活しにくくなる。これにより、平坦な被処理物表面を  
プラズマ処理する場合に照射距離を大きくしても、ある  
いは図 17 (b) に示すように、被処理物表面の略中央  
部が突出した凸形状であっても均一にプラズマ処理する  
ことが可能となる。

【0054】このように、被処理物表面におけるプラズ  
マ処理の処理効果均一手段は、プラズマジェットの被処  
理物表面への到達時間を筒状容器の横長断面の横方向に  
10 において制御するものであり、プラズマの発生状態や発生  
手段に関わらず、プラズマをジェット状で噴射させて被  
処理物に作用させる構造を有するプラズマ処理装置全般  
に適用可能なものである。

【0055】ところで、プラズマ均一化手段として紹介  
した図 7 の乱流生成部材 6 の筒状容器 1 内における配置  
が適切である場合は、乱流生成部材 6 が処理効果均一手  
段としての役割を担うことも可能である。すなわち、乱  
流生成部材 6 をガス導入口 1 の略中央部で下流側の適切  
な位置に配置すると、筒状容器の横方向の端部でのガス  
流速が増加し、プラズマジェット端部の被処理物への到  
達時間が短縮される。これにより、被処理物表面が平坦  
でない場合であっても均一なプラズマ処理を被処理物に  
提供することが可能となる。

【0056】本発明のプラズマ処理装置は、筒状容器 1  
のガス導入口 10 側に配置されるヘッダー 50 を具備す  
ることが好ましい。すなわち、図 18 に示すように、筒  
状容器 1 の上側には設けられたヘッダー 50 は、上部の  
円筒部 51 と下部の絞り部 52 とで主に構成され、絞り  
部 52 は円筒部と筒状容器のガス導入口 10 との間を滑  
らかに且つ全周に亘って隙間なく連結する。また、ヘッ  
ダー 50 の閉塞された上面にはガス導入管 53 が突設さ  
れている。尚、ヘッダー 50 は、筒状容器と同様の材料  
で筒状容器 1 と一体に形成しても良い。

【0057】ヘッダー 50 を使用する場合は、ガス導入  
管 53 を通じてヘッダー内にストリーマ生成ガスがまず  
供給され、次いでヘッダーからガス導入口 10 を介して  
筒状容器 1 内にストリーマ生成ガスが導入されること  
になる。筒状容器 1 にストリーマ生成ガスを導入するに  
先立って、ヘッダーによりストリーマ生成ガスの流速の抵  
抗が限りなく小さくなるように整流されるので、ストリ  
ーマ生成ガスを偏りなく均一に筒状容器 1 に供給する  
ことができ、その結果、筒状容器内に筒軸対称の流速分布  
と流速を有するストリーマ生成ガスの流れを提供しやす  
くなる。これは、被処理物上におけるプラズマ処理効果  
の均一性を促進する上でも好ましい。

【0058】尚、ヘッダーの形状は図 18 のものに限定  
されず、ガス導入口 10 に導入される以前にストリーマ  
生成ガスに望ましくない流速分布が発生せず、且つガス  
導入口 10 でストリーマ生成ガスの流速が低下しないよ  
50

うな構造であればよい。また、ヘッダーは添付図面に描  
かれた他のプラズマ処理装置に対しても必要に応じて取  
付け可能である。

【0059】また、本発明のプラズマ処理装置は、筒状  
容器 1 内に複数のストリーマの生成を開始させるための  
プラズマ点火手段を具備することが好ましい。一般に、  
大気圧あるいはその近傍の圧力条件下で放電させるプラ  
ズマ処理装置では、放電開始時に放電空間 7 に大きな電  
圧（約 1 kV 以上）をかけてプラズマを点灯させる必要  
がある。また、放電空間 7 に印加する電力（電源）の周  
波数も 13.56 MHz に代表されるような高周波である  
ために、電源 20 とプラズマ発生領域（放電空間 7）  
との間にインピーダンス整合が必要である。従って、プ  
ラズマを点灯させてプラズマ処理装置を始動させるため  
に高電圧を電極 2 に印加すると、上記のインピーダンス  
整合のために設けたインピーダンス整合器内の可変コン  
デンサ内でアークが発生し、プラズマ処理装置を始動さ  
せ難くなる恐れがある。

【0060】そこで、本発明においては、プラズマ点火  
手段としては、例えば、図 19 に示すように、高電圧パ  
ルス発生器 60 を筒状容器のプラズマ放出口 12 側に配  
置することが好ましい。高電圧パルス発生器 60 は、高  
電圧パルス発生回路を内蔵し、且つ高電圧パルス発生回  
路で発生させた高電圧パルスを放つ放射電極 61 を具備  
する。放射電極 61 は、電極 2、3 と同様の金属材料で  
形成でき、その先端は高電圧パルスが放ち易いように鋭  
利に形成されている。また、放射電極 61 の先端がブラ  
ズマ放出口 12 の真下（下流）に位置する状態とプラズ  
マ放出口 12 の真下に位置しない状態との間で移動可能  
となるように放射電極 61 の移動手段（図示せず）を設  
けることが好ましい。例えば、そのような移動手段とし  
てはエアシリンダ等を用いることができる。

【0061】プラズマを点火する場合は、放射電極 61  
を移動させてその先端をプラズマ放出口 12 の真下に位  
置させると共に、電源 4 の使用による放電空間 7 への交  
流又はパルス状の電界の印加と筒状容器 1 内へのストリ  
ーマ生成ガスの導入が行われている条件の下で放射電極  
61 の先端から高電圧パルスを放てばよい。プラズマ点  
灯後は、放射電極 61 をプラズマ放出口 12 の真下から  
遠ざけてプラズマ処理の邪魔にならないように移動させ  
る。尚、高電圧パルス発生器 60 で発生させる高電圧パ  
ルスの電圧や発生時間はストリーマ生成ガスの種類など  
によって選択されるが、高電圧パルスの電圧をストリ  
ーマ生成中に電源 4 によって電極 2 に印加する電圧の 3 倍  
もしくはそれ以上とするのが好ましい。高電圧パルスの  
発生時間は任意に設定可能である。

【0062】このように、電源 4 とは別にプラズマの点  
灯用の高電圧パルス発生器 60 を設けることは、高電圧  
を電極 2 に印加することなくプラズマを確実に点灯させ  
ることができ、始動不良のないプラズマ処理装置の素早  
50

い安定した始動を提供できる点で好ましい。

【0063】また、図20に示すように、別のプラズマ点火手段としてUVランプのような光源70を使用して良い。光源70は、筒状容器1内の放電空間7内においてプラズマ点火に十分なエネルギーを有する光、例えば、紫外光を照射するものであり、光源は水平方向に長い略円柱形状で形成され、電極2、3間の間隙と対向するように筒状容器1の横長断面の横方向に略平行に配置される。プラズマを点火する場合は、電源4の使用による放電空間7への交流又はパルス状の電界の印加と筒状容器へのストリーマ生成ガスの導入が行われている条件の下で光源70により放電空間に光を照射すれば良い。

【0064】次に、本発明のプラズマ処理方法について説明する。本プラズマ処理方法は、上記したプラズマ処理装置を用いて実施することが好ましいことは言うまでもないが、内部に放電空間が定義される筒状容器と、一対の電極と、ストリーマ生成ガスを筒状容器内に供給するガス供給手段と、筒状容器内に前記ガスの複数のストリーマを生成するために電極間に交流電圧及びパルス電圧のいずれかを印加する電源とを具備するプラズマ装置を使用すれば、以下の方法により複数のストリーマを均一化して得たプラズマで被処理物を高処理速度で且つ均一に表面処理することが可能である。

【0065】すなわち、本発明のプラズマ処理方法を実施するにあたっては、まず、横長断面を有し、一端にガス導入口および他端にプラズマ放出口を有する電気絶縁材料製の筒状容器にガス導入口を介してストリーマ生成ガスを供給する。ストリーマ生成ガスとしては、主成分としてアルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトンのような希ガスを含有するガスを使用することが好ましく、特にアルゴンおよびアルゴンとヘリウムの混合ガスを希ガスとして使用することが好ましい。熱伝導率が小さいアルゴンを主体とするストリーマ生成ガスを用いる場合は、ストリーマを数多く発生させることができるので、高い処理速度を得る上で特に有効である。また、ガスのコスト面を考慮した場合でも、高価なヘリウムよりもアルゴンの使用が好ましい。

【0066】アルゴンの含有量としては、ストリーマ生成ガスの全量に対して30体積%以上、より好ましくは50体積%以上とすることが好ましい。アルゴンの含有量が30体積%以上であれば、多数のストリーマの同時生成をより確実に達成することができる。尚、ストリーマ生成ガスにアルゴン単体を使用することを排除するものではないが、処理中にアーク放電が発生しやすくなるために推奨されない。そのような場合は、希ガス中のアルゴンの含有量を100体積%にわずかに満たない量とし、残りをヘリウムなどの他のガスとすることが好ましい。

【0067】また、ストリーマ生成ガスとしては、プラズマ処理内容に応じて複数種の希ガスと反応性ガスの混

合気体を用いても良い。反応性ガスとしては、例えば、被処理物の表面に存在する有機物のクリーニング、レジストの剥離、有機フィルムの表面改質などを行う場合は、酸素、空気、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ などの酸化性ガスを用いることができる。この酸化性ガスの含有量は、プラズマ処理を効率よく行うため、ストリーマ生成ガスの全量に対して酸素換算で1体積%以上とするのが好ましい。一方、酸化性ガスの含有量の上限は特に設定されないが、多くのストリーマを確実に発生させるという観点から、例えば、酸化性ガスの含有量の上限を10体積%と設定することができる。これは、酸素は $\text{O}^-$ や $\text{O}_2^-$ などの負イオンを形成しやすく、 $\text{O}_2^- + \text{Ar}^+ \rightarrow \text{O}_2 + \text{Ar}$ などの反応により、過度に酸素が存在するとプラズマが消滅しやすくなるからである。

【0068】被処理物上に存在する金属酸化物の還元処理を行う場合は、水素などの還元性ガスを反応性ガスとして用いるのが好ましい。この還元性ガスの含有量としては、プラズマ処理を効率よく行うためストリーマ生成ガスの全量に対して1体積%以上とするのが好ましい。一方、還元性ガスの含有量の上限としては、還元性ガスの含有率を過度に高くしても還元効果は変わらず、安全上の観点からも、還元性ガスの含有率の上限を10体積%とするのが好ましい。

【0069】被処理物が導電性を有する場合は、筒状容器と導電性の被処理物との間にアーク放電が発生するを抑制するため、ヘリウムを3体積%以上含有するストリーマ生成ガスを用いるのが好ましい。ヘリウムの含有量がストリーマ生成ガスの全量に対して3体積%未満であれば、筒状容器と導電性の被処理物との間にアーク放電が発生しやすくなり被処理物が損傷する恐れがある。アーク発生防止は、筒状容器のプラズマ放出口から被処理物を遠ざけたり、電極を筒状容器のプラズマ放出口から離して配置したり、放電空間に印加する電力を小さくする等によっても可能であるが、これらの場合は処理速度の低下を招くので、上記したように、ストリーマ生成ガスにヘリウムを3体積%以上含有させることが特に有効である。尚、筒状容器内に多くのストリーマを発生させるという観点からヘリウムの含有率の上限は50体積%とするのが好ましい。

【0070】次に、筒状容器の略軸方向に電気力線が形成されるよう筒状容器のまわりに配置した一対の電極間に交流あるいはパルス電圧を印加し、大気圧もしくはその近傍の圧力(93.3~106.7kPa(700~800 Torr))下で筒状容器内に上記したガスの複数のストリーマを生成する。この時、電極間距離が2mmもしくはそれ以上、20mm未満が特に好ましいことは上記した通りである。

【0071】本発明において、電源として交流電源を用いた場合、放電空間に印加される交流電界の周波数は1kHz~200MHzに設定するのが好ましい。交流電

界の周波数が 1 kHz 未満であれば、放電を安定化させることができなくなり、プラズマ処理を効率よく行えなくなる恐れがある。また、交流電界の周波数が 200 MHz を超えると、放電空間でのプラズマの温度上昇が著しくなり、被処理物に熱的なダメージを与える可能性が増加してくる。また、筒状容器 1 や電極 2、3 の寿命が短くなったり、プラズマ処理装置が複雑化且つ大型化したりする恐れがある。

【0072】電源としてパルス電源を用いた場合、放電空間に印加されるパルス電界の周波数は 0.5 kHz ~ 200 MHz に設定するのが好ましい。より好ましくは 1 kHz ~ 200 kHz である。パルス電界の周波数の上下限については、交流電源を用いた場合と同様である。尚、パルス電源を用いる場合、パルス電圧の立ち上がり時間を 100 μsec 以下にすることが好ましい。パルス電界の立ち上がり時間が 100 μsec 以上であると、放電空間におけるプラズマ密度を高くすることが難しくなり、プラズマ処理能力が低下する恐れがある。また、下限値は特に限定しないが、現状のパルス電源での立ち上がり時間の下限値はおおよそ 40 nsec である。40 nsec よりも短い立ち上がり時間を実現できれば、40 nsec よりも短い時間を立ち上がり時間とするのが好ましい。また、パルス電界強度は 1 ~ 150 kV/cm に設定することが好ましい。

【0073】また、本発明において、放電空間に印加する印加電力の密度は 20 ~ 3500 W/cm<sup>3</sup> に設定するのが好ましい。放電空間に印加する印加電力の密度が 20 W/cm<sup>3</sup> 未満であれば、プラズマを十分に発生させることができなくなり、逆に、放電空間に印加する印加電力の密度が 3500 W/cm<sup>3</sup> を超えると、安定した放電を得難くなる恐れがある。尚、印加電力の密度 (W/cm<sup>3</sup>) は、(印加電力/放電空間体積) で定義される。

【0074】次に、筒状容器の矩形断面の長さ方向において複数個のストリーマを均一化し、筒状容器内にプラズマを形成する。

【0075】本発明者らは鋭意研究を重ねてきた結果、筒状容器内に生成した複数のストリーマを筒状容器の横長断面の横方向において均一化するには、筒状容器内を流れるストリーマ生成ガスの流れが、非放電時において、1700 以上のレイノルズ数 (Re) を有することが重要であり、これにより、個々のストリーマが経時的に同一個所に固定化されて発生することなく、放電空間の前記横方向の全体に亘って均一に発生させることができることを見出した。レイノルズ数 (Re) は、次式 (1) によって表される“流れ”を特徴づける無次元の数である：

【0076】

【数 1】

$$Re = uD/\nu = \rho u D/\mu \cdots \cdots (1)$$

【0077】ここに、“ $\rho$ ”はストリーマ生成ガスの密度、“ $u$ ”は放電空間上端断面積  $S$  と放電空間へ供給するガス流量  $Q$  により  $Q/S$  で与えられる放電空間上端部における非放電時の平均速度、“ $D$ ”は放電空間上端幅、“ $\nu$ ”はストリーマ生成ガスの動粘性係数、“ $\mu$ ”はストリーマ生成ガスの粘性係数を表わす。従って、筒状容器の幅が一定であれば、放電空間上端部における非放電時の平均速度“ $u$ ”が大きいほど、また、ストリーマ生成ガスの動粘性係数“ $\nu$ ”が小さいほど、レイノルズ数が大きくなり、結果としてストリーマ生成ガスに乱流成分が発生しやすくなってストリーマを空間的に均一に発生させやすくなる。

【0078】安定して 1700 以上のレイノルズ数を得る方法としては、例えば、放電空間の上端部におけるストリーマ生成ガスの平均速度を 5 m/秒とすることが望ましい。これにより、例えば、アルゴンの含有率が少ない(動粘性係数が大きい)場合であっても、レイノルズ数を大きくして乱流成分を形成しやすくなる。尚、ガス流速の上限としては、あまり高速にするとプラズマが吹き消される恐れがあるので、例えば 40 m/秒以下とするのが好ましい。

【0079】ここで、本発明のストリーマ均一化ステップを行う場合と行わない場合について放電空間 7 内における複数のストリーマの分布状態について述べておくことは本発明の理解をさらに深める上で有益である。図 21 (a) ~ (j) は、ストリーマ均一化ステップを実施しない場合の放電空間内に生成した複数のストリーマの放電状態を示すため、1/30 秒毎に撮影した写真である。これらの放電状態は、図 1 のような構成のプラズマ処理装置において、電極 2、3 の間の隙間から筒状容器内を撮影したものである。

【0080】この場合は、ストリーマの生成が無い領域とストリーマの生成が有る領域とをはっきり区別することができ、筒状容器の横長断面の横方向(図 21 水平方向)におけるストリーマは不均一に分布した状態となる。このようなストリーマの不均一分布は、図 21 (a) ~ (j) からわかるように、経時的にみてもほぼ同じ分布状態で放電が維持される。これは、一旦ストリーマが電気力線と略平行方向に固定して発生すると、その個所の誘電体表面温度が上昇し、二次電子が放出されやすくなるため、ストリーマはさらに成長する。この時、ストリーマ生成ガスが方向性を持たず、電気力線と略平行方向に流れていると、電子なだれは既に形成されているストリーマの極近傍にしか生じないため、ストリーマの発生した箇所と発生していない箇所が明確に分離された状態を不可逆的に維持し続けるためと考えられる。

【0081】このようなストリーマで被処理物を処理した場合は、ストリーマの生成個所の直下に対応する被処理物の表面では高い処理効果が得られるが、ストリーマ



が生成していない個所の直下に対応する被処理物の表面ではほとんど処理効果が得られず、筒状容器の前記横方向における被処理物上の処理効果に極めて大きなバラツキが発生することになる。

【0082】これに対して、図22(a)～(j)は、本発明のストリーマ均一化ステップを実施した場合の放電空間内に生成した複数のストリーマの放電状態を示すため、上記と同じ撮影条件で1/30秒毎に撮影した写真である。これらの写真からわかるように、ストリーマの生成が無い領域とストリーマの生成が有る領域との差が小さくなり、筒状容器の横方向(図22の水平方向)におけるストリーマの分布均一性が大幅に改善されている。これは、ストリーマ均一化ステップの実施および/もしくはプラズマ処理装置内にプラズマ均一化手段を配備したことによって、放電空間の至る所で、極めて短いタイムスケールで、ストリーマの生成と消滅を繰り返し発生させ(例えば、6、7本のストリーマが、数百 $\mu\text{sec}$ ～数msecのタイムスケールで生成と消滅を繰り返す)、筒状容器の横方向における放電空間の全域に亘って多数のストリーマを略均一に生成することができたからである。このようなストリーマの均一性は、ストリーマの輝線の位置が時間経過に伴って逐次変化するため、長いタイムスケールでみれば、ストリーマは経時的にも空間的にも安定且つ均一に維持される。このようなストリーマで被処理物を処理した場合は、筒状容器の前記横方向における被処理物上の処理効果のばらつきが小さく、また大気圧グロー放電を用いた処理と比較して非常に高い処理速度を提供することが可能となる。

【0083】このようなストリーマの均一化は、非放電時のストリーマ生成ガスの乱流成分を放電空間の少なくとも一部分に存在させることで実現することができる。放電空間中にガスの乱流成分が存在すると、電気力線と略平行な方向だけでなく無秩序な方向性がガス流に発生する。このガス流により、ストリーマの極近傍で生成された活性種、特にイオンは、あらゆる方向に移動可能となり、その結果、放電空間の至る場所で電子などが発生してストリーマが放電空間内にほぼ均一に分散して形成されたと考えられている。

【0084】次に、筒状容器のプラズマ放出口からカーテン状のプラズマを被処理物の被処理面に吹き付けてプラズマ処理を実施する。

【0085】プラズマ処理を実施するにあたっては、プラズマを吹き出しながら被処理物、もしくはプラズマ処理装置を筒状容器の前記横方向と略直交する方向に移動させることが好ましい。また、プラズマ処理装置又は被処理物をその移動方向と直交する方向に振動させることにより、繰り返しプラズマが被処理物に吹き付けられることになってプラズマ処理の均一性をさらに高めることも可能である。また、被処理物の大きさが筒状容器の長さ(L)よりも大きい場合は、例えば、ロボットなどの

移動手段を用いて被処理物の全面に亘ってプラズマジェットが吹き付けられるように被処理物を移動させても良い。更には、被処理物あるいはプラズマ処理装置を筒状容器の前記横方向と略同一方向に移動させることにより、被処理物の一部を直線状に処理することも可能である。この場合は、プラズマジェットの照射される時間が長くなるので、格段に高い処理効果を期待することができる。

【0086】

10 【実施例】以下、本発明を実施例に基づいて具体的に説明する。尚、実施例1～18においては、筒状容器1のプラズマ放出口12から下側(下流側)5mmの位置に被処理物を置いて、筒状容器の横長断面の横方向と直交する方向に10mm/秒で被処理物を移動させながらプラズマ処理を行った。被処理物にはネガ型フィルムレジストを1 $\mu\text{m}$ の厚みで塗布したシリコン基板を用いた。

実施例1及び比較例1

実施例1では、図18に示すヘッダー50を装備した図1の構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器1は、板厚1mmの石英ガラス製で、内寸が幅1mm(スリット幅(SW))、長さ40mm(スリット長(SL))、高さ(H)80mmの矩形の筒形状を有する。一対の電極2、3は銅製で、その表面には金メッキ処理を施してある。また、電極間距離Dは5mmとした。電極2、3の内部には冷却水用の流路を設けてあり、この流路に冷却水を循環させて電極及び放電空間7を冷却できるようにしてある。上部の電極2は高周波電界(電圧)を発生する電源4に接続し、下部の電極3は接地した。比較例1においては、図23に示すプラズマ処理装置を使用した。すなわち、一対の電極2、3を、筒状容器1の軸方向に略平行に筒状容器の両側に配置して、グロー放電を生成しやすい構造となっている。その他は図1の装置と実質的に同じである。

【0087】これらのプラズマ処理装置を用いて、大気圧下、ヘリウムを12リットル/分、酸素を0.4リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを筒状容器1に供給し、13.56MHzの周波数で1000Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からカーテン状のプラズマを被処理物8表面に噴射してプラズマ処理を行った。本実施例では、ストリーマを均一化するために、ストリーマ生成ガスの筒状容器の軸方向におけるガス流速を5m/秒以上(=計算値5.17m/秒)にするとともに、スリット幅が1mmである筒状容器を使用した。実施例1及び比較例1について、レジストのエッチング深さを測定してその平均値を求めると共に放電状態を観察した。結果を表1に示す。

【0088】

【表1】



	エッチング深さ 平均値 (Å)	放電状態
実施例1	100	ストリーマとグロー放電が混在し、筒状容器の 横長断面の横方向におけるストリーマの均一 性は良好であった。
比較例1	35	均一なグロー放電のみが発生した。

【0089】表1に示すように、実施例1では、放電空間全域に亘ってストリーマが均一に発生したのに対し、比較例1においては、グロー放電が発生した。また、エッチング深さの平均値は、グロー放電プラズマを用いた場合（比較例1）より複数のストリーマを均一化することによって得られたプラズマを用いた場合（実施例1）の方が約3倍近く大きく、処理速度の顕著な差を確認することができた。

実施例2乃至5

これらの実施例で使用したプラズマ処理装置は、筒状容器の内寸がスリット幅（SW）1mm、スリット長（SL）56mm、高さ（H）80mmであり、図3に示すように、ガス導入口10の開口幅及び開口長さをそれぞれ1mmおよび16mmとしたことを除いて実質的に実施例1の場合と同じである。

【0090】このプラズマ処理装置を用いて、大気圧 \*

\*下、表2に示すガス組成を有するヘリウムとアルゴンの混合ガスを12リットル/分、酸素を0.4リットル/分の割合で混合して得られるストリーマ生成ガスを筒状容器に供給し、13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加してストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からカーテン状のプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。本実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅（SW）が1mmで、且つガス導入口の開口面積（約16mm<sup>2</sup>）をガス導入口直下における筒状容器の断面積（約56mm<sup>2</sup>）よりも小さくするように形成した筒状容器1を使用した。プラズマ処理後、レジストのエッチング深さを測定してその平均値を求めた。結果を表2に示す。

【0091】

【表2】

	Ar + He 混合ガス 中のAr量 (vol%)	エッチング 深さ平均値 (Å)	放電状態
実施例2	100	700	ストリーマ発生量が多く、その均一性も良好
実施例3	90	600	ストリーマ発生量が多く、その均一性も良好
実施例4	50	380	ストリーマとグロー放電の混在 プラズマ全体の均一性は良好
実施例5	10	50	ストリーマとグロー放電の混在 プラズマ全体の均一性は良好

【0092】表2に示すように、アルゴンの割合が増加するほどプラズマ処理が速くなる傾向があった。これは、アルゴンの割合が多いほどストリーマが多く発生したためであり、ストリーマ発生量とプラズマ処理効果（エッチング深さ）との間には強い相関関係があることがわかった。また、エッチングの面内均一性もアルゴンの割合が多いものほど良好であった。

実施例6乃至8

本実施例で使用したプラズマ処理装置は、以下の点を除いて実質的に実施例1で用いた装置と同じである。すなわち、筒状容器の内寸は、スリット幅（SW）1mm、スリット長（SL）56mm、高さ（H）80mmであり、図3に示すように、ガス導入口10の開口幅及び開口長さをそれぞれ1mmおよび16mmとした。また、それぞれの実施例において電極間距離Dを変化させ、それがプラズマ処理に及ぼす影響を調べた。

【0093】プラズマ処理は以下の条件で行った。すな

わち、上記したプラズマ処理装置を用いて、大気圧下、ヘリウムを2リットル/分、アルゴンを10リットル/分、酸素を0.4リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56MHzの周波数で600Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。本実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅（SW）が1mmで、ガス導入口の開口面積（16mm<sup>2</sup>）がガス導入口直下における筒状容器の断面積（56mm<sup>2</sup>）よりも小さい筒状容器を使用した。プラズマ処理後、レジストのエッチング深さを複数の位置で測定してその平均値を求めると共に、処理中の放電状態を観察した。結果を表3に示す。

【0094】

【表3】

	電極間距離	エッチング 深さ平均値 (Å)	放電状態
実施例 6	5 mm	450	ストリーマ発生量が多く、その均一性も良好
実施例 7	1 mm	300	ストリーマとグロー放電の混在、プラズマ全体の均一性は良好
実施例 8	20 mm	100	放電が不安定化する傾向有り

【0095】表3に示すように、実施例6では、プラズマ放電中に放電空間に多数のストリーマが発生し、しかも放電空間7の全域に亘って均一なストリーマが得られた。従って、実施例6ではレジストのエッチング量が位置によって大きく異なることなく、ほぼ均一な深さと形状でエッチングすることができた。一方、実施例7では、放電開始時に筒状容器1の外側で電極2、3間にスパークが発生する場合があった。また、実施例8では電極間距離が長すぎたため、ストリーマを発生させ難い傾向があった。

実施例9乃至11

これらの実施例で使用したプラズマ処理装置は、筒状容器の内寸が、スリット幅(SW)1mm、スリット長(SL)56mm、高さ(H)80mmであることを除いて実質的に実施例1と同じである。

【0096】このプラズマ処理装置を用いて、大気圧下、表4に示す割合で混合したヘリウム、アルゴン、酸素からなるストリーマ生成ガスを供給し、放電空間7に\*

\*供給する際のガスの流速(レイノルズ数)を変化させた。そして、13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。本実施例では、ストリーマを均一化するために、非放電時における筒状容器内のストリーマ生成ガスの流れが1700以上のレイノルズ数を有するようにストリーマ生成ガスを筒状容器に供給するとともに(実施例10、11)、スリット幅(SW)が1mmである筒状容器を使用した(実施例9~11)。プラズマ処理後、レジストのエッチング深さを複数の位置で測定してその平均値を求めた。また、プラズマ処理中の放電状態を観察した。結果を表4に示す。エッチング深さのバラツキは、エッチング深さの最大値と最小値の差をエッチング深さの平均値で除した値(百分率)とした。

【0097】

【表4】

	He流量 (SLM)	Ar流量 (SLM)	O <sub>2</sub> 流量 (SCCM)	レイノルズ数
実施例 9	2.5	0.5	100	1000
実施例 10	0.5	2.5	100	3100
実施例 11	2.0	10.0	400	12500

	エッチング 深さ平均値 (Å)	ばらつき (%)	放電状態
実施例 9	40	48	ストリーマ発生量は少ないが、その均一性は良好
実施例 10	150	26	ストリーマ発生量が多く、その均一性も良好
実施例 11	520	15	ストリーマ発生量が多く、その均一性も極めて良好

【0098】表4に示すように、レイノルズ数が1700以上である実施例10、11では、レイノルズ数が小さい実施例9よりもストリーマの発生量が多く、またその均一性も良好であり、レジストのエッチング深さのバラツキ範囲もより小さい結果となった。このように、レイノルズ数が大きくなるほど、プラズマ処理の均一性が向上する傾向があった。また、エッチング深さはストリーマ生成ガス流量の増加に比例して増加する傾向があった。

実施例12乃至14

これらの実施例で使用したプラズマ処理装置は、スリット幅(SW)が表5に示す値で、スリット長(SL)が30mm、高さ(H)が80mmであり、ガス導入口1

0の開口幅が前記したスリット幅と同じで、その開口長さが8.5mmである筒状容器を使用したことを除いて実質的に実施例1と同じである。

【0099】このプラズマ処理装置を用いて、大気圧下、ヘリウムを1リットル/分、アルゴンを5リットル/分、酸素を0.2リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。本実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅(SW)が1mm(実施例13のみ)で、且つガス導入口の開口面積(実施例12:4.25

mm<sup>2</sup>、実施例13：8.5mm<sup>2</sup>、実施例14：59.5mm<sup>2</sup>）がガス導入口直下における筒状容器の断面積（実施例12：15mm<sup>2</sup>、実施例13：30mm<sup>2</sup>、実施例14：210mm<sup>2</sup>）よりも小さい筒状容器（実施例12～14）を使用した。プラズマ処理後、レジスト\*

	スリット幅(mm)	エッチング深さ平均値(Å)	ばらつき(%)	放電状態 (1)ストリーマ発生量 (2)放電の均一性
実施例12	0.5	210	15	(1)極めて多い (2)極めて良好
実施例13	1	550	16	(1)非常に多い (2)非常に良好
実施例14	7	20	35	(1)多い (2)良好

評価：極めて多い>非常に多い>多い； 極めて良好>非常に良好>良好

【0101】表5に示すように、実施例12では、プラズマの均一性は極めて良好であったが、エッチング深さの平均値は実施例13のその半分であった。一方、実施例14ではスリット幅が大きすぎたため、本実施例におけるストリーマ生成用ガスの供給量では筒状容器のガス導入口において十分なガス速度を得ることができず、渦流が下流側にまで発達しなかったため、実施例12、13と比べるとストリーマ発生量は多少減少した。また、放電空間の単位体積当たりの電力量が減少したため、エッチング深さの平均値も減少する結果となった。実施例15～17

これらの実施例で使用したプラズマ処理装置は、スリット幅（SW）が1mm、スリット長（SL）が56mm、高さ（H）が80mmであり、ガス導入口10の開口長さが表6に示す値である筒状容器を使用したことを除いて実質的に実施例1と同じである。

【0102】このプラズマ処理装置を用いて、大気圧下、ヘリウムを3.39リットル/分、アルゴンを0.※

\*のエッチング深さを複数の位置で測定すると共に、エッチング深さのバラツキを求めた。結果を表5に示す。

【0100】

【表5】

※48リットル/分、酸素を0.43リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。本実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅が1mmで（実施例15～17）、且つガス導入口の開口面積（実施例16：16mm<sup>2</sup>、実施例17：8mm<sup>2</sup>）がガス導入口直下における筒状容器の断面積（56mm<sup>2</sup>）よりも小さい筒状容器を使用した。プラズマ処理後、レジストのエッチング深さを複数の位置で測定すると共に、エッチング深さのバラツキを求めた。結果を表6に示す。エッチング深さのバラツキは、エッチング深さの最大値と最小値の差をエッチング深さの平均値で除した値（百分率）とした。

【0103】

【表6】

	ガス導入口の開口長さ(mm)	エッチング深さ平均値(Å)	ばらつき(%)	放電状態
実施例15	56	90	48	ストリーマ発生量が少なく、その均一性も他の実施例との比較において低い
実施例16	16	100	21	ストリーマ発生量が多く、その均一性も極めて良好
実施例17	8	95	38	ストリーマ発生量は多いが、プラズマ中央部の放電状態がやや安定性に欠けていた

【0104】表6に示すように、実施例15ではエッチング深さのバラツキは他の実施例に比して大きかった。実施例15では、ガス導入口10の開口面積とプラズマ放出口12の開口面積が約56mm<sup>2</sup>と同じであり、本実施例のガス供給量、ガス組成ではレイノルズ数が1093となり、乱流成分が発生し始める1700に達しなかった。一方、実施例17でも、エッチング深さのバラツキがやや大きめであったが、これはガス導入口の開口面積が小さすぎ、放電空間7の中央部に供給されるストリーマ生成ガスの流速が速すぎて放電空間7の略中央部

における放電状態の安定性が低下したためと考えられる。

実施例18

本実施例では、図18に示すヘッダー50を装備した図7の構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器3は板厚1mmの石英ガラス製で、内寸が幅1mm（スリット幅（SW））、長さ56mm（スリット長（SL））、高さ（H）80mmの矩形的筒形状を有する。また、底辺20mm、高さ15mmの二等辺三角形を底面とする三角柱の乱流生成部材6を、乱流生成部材6の

前記二等辺三角形の頂点が、筒状容器のガス導入口 10 から筒軸方向に下方に 5 mm 離れた場所に位置するとともに、乱流生成部材 6 の底面が筒状容器の内壁面と平行に延出するように筒状容器 1 内に配置した。それ以外の構成については実施例 1 の装置と実質的に同じである。

【0105】このプラズマ処理装置を用いて、大気圧下、ヘリウムを 3.39 リットル/分、アルゴンを 0.48 リットル/分、酸素を 0.43 リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56 MHz の周波数で 700 W の印加電力で高周波電界を放電空間 7 に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口 12 からプラズマを被処理物の表面に噴射して\*

\* プラズマ処理を行った。本実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅が 1 mm で、且つ筒状容器内にストリーマ生成ガスの乱流を形成可能な形状を有する乱流生成部材 6 を配置した筒状容器 1 を使用した。プラズマ処理後、レジストのエッチング深さを複数の位置で測定すると共に、エッチング深さのバラツキを求めた。結果を実施例 15 の結果とともに表 7 に示す。エッチング深さのバラツキは、エッチング深さの最大値と最小値の差をエッチング深さの平均値で除した値（百分率）とした。

【0106】

【表 7】

	エッチング 深さ (Å)	ばらつき (%)	放電状態
実施例 18	110	16	ストリーマ発生量が多く、その均一性も良好
実施例 15	90	48	ストリーマ発生量が少なく、その均一性も他の実施例との比較において低い

【0107】表 7 に示すように、ストリーマ均一化手段として筒状容器 1 内に乱流生成部材 6 を設置したので、ストリーマ発生量が多く、その均一性も極めて良好であり、レイノルズ数の小さい実施例 15 の場合と比較して格段にエッチング深さのバラツキを少なくすることができた。

実施例 19 乃至 25

実施例 19 では、図 3 に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器 1 がスリット幅 (SW) が 1 mm、スリット長 (SL) が 56 mm、高さ (H) が 80 mm であり、ガス導入口 10 の開口幅が 1 mm で、開口長さが 16 mm である筒状容器 1 を使用したことを除いて実質的に実施例 1 と同じである。

【0108】実施例 20 では、図 17 に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器 1 は、板厚 1 mm の石英ガラス製で、スリット長 (SL) が 56 mm、高さ (H) が 80 mm の矩形の筒形状を有する。また、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段 (g) を具備している。すなわち、この筒状容器は、図 17 (b) に示すように、筒状容器のスリット幅が、端部 (SWE) から略中央 (SWC) に向かって滑らかに減少するように、一対の凹曲面状の前壁 13 および後壁 14 と一対の平坦な側壁 15 とで形成されている。尚、前壁 13 と後壁 14 の間の最も狭い間隔 (SWC) と最も広い間隔 (SWE) の差は、45 μm である。筒状容器 1 の中心部のスリット幅 (SWC) は 1 mm である。また、ガス導入口 10 の開口長さは 16 mm である。その他の構成については実施例 1 と同じである。

【0109】実施例 21 では、図 16 に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器 1 は、板厚 1 mm の石英ガラスを製で、スリット幅 (SW) が 1 mm、ガス導入口 10 側のスリット長 (SL) が 85 mm、プラズ

マ放出口 12 側のスリット長 (SL) が 56 mm、高さ (H) が 80 mm、筒軸方向と側壁 15 のなす壁面傾斜角 θ が 10.3 度で、筒状容器 1 の筒軸方向の下流側に向かうほど流路断面積が小さくなるように台形状の一対の前壁および後壁と矩形形状の一対の側壁とで形成されている。すなわち、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段 (f) を具備しているのである。尚、ガス導入口 10 の開口幅および開口長さはそれぞれ 1 mm および 24 mm である。その他の構成については実施例 1 と同じである。

【0110】実施例 22 では、図 11 に示すプラズマ処理装置を使用した。筒状容器 1 は、板厚 1 mm の石英ガラス製で、内寸が幅 1 mm (スリット幅 (SW))、長さ 56 mm (スリット長 (SL))、高さ (H) 80 mm の矩形の筒形状を有する。また、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段 (b) を具備している。すなわち、開口幅が 1 mm で開口長さが 8 mm のガス導入口 10 を、筒状容器 1 の中心軸に対して左右対称に 2 箇所設置した。その他の構成については実施例 1 と同じである。

【0111】実施例 23 では、図 9 に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器 1 は、板厚 1 mm の石英ガラス製で、内寸が幅 1 mm (スリット幅 (SW))、長さ 56 mm (スリット長 (SL)) の矩形の筒形状を有する。また、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段 (a) を具備している。すなわち、この筒状容器 1 は、その高さ (H) がプラズマ放出口 12 側において筒状容器の横長断面の横方向に略中央から両端部に向かって連続的に滑らか曲線を描きながら増加し、端部の高さ (HE) が 90 mm、略中央 (HC) の高さが 80 mm となるように形成されている。尚、ガス導入口 10 の開口幅および開口長さはそれぞれ 1 mm および

16mmである。その他の構成については実施例1と同じである。

【0112】実施例24では、図14に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器1は、板厚1mmの石英ガラス製で、内寸が幅1mm（スリット幅（S W））、長さ56mm（スリット長（S L））、高さ（H）80mmの矩形の筒形状を有する。また、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段（d）を具備している。すなわち、この筒状容器1の内表面には、図14（b）において番号16で示される領域に幅10mm、ガス導入口10からプラズマ放出口12までの距離に渡って帯状に平均表面粗さ約100μmを有する粗面化領域を形成してある。その他の構成については実施例2と同じである。

【0113】実施例25では、図7に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器1は、板厚1mmの石英ガラス製で、内寸が幅1mm（スリット幅（S W））、長さ56mm（スリット長（S L））、高さ（H）80mmの矩形の筒形状を有する。また、底辺20mm、高さ15mmの二等辺三角形を底面とする三角柱形状の乱流生成部材6を、乱流生成部材6の前記二等辺三角形の頂点が筒状容器1のガス導入口10から筒軸方向に下方に5mm離れた場所に位置し、乱流生成部材の底面が筒状容器の内壁面と平行に延出するように筒状容器1内に配置した。この配置において、乱流生成部材6はプラズマ均一化手段として機能するとともに、処理効果均一手段としても機能する。その他の構成については実施例1と同じである。

【0114】実施例19～25に示す各プラズマ処理装置において、大気圧下、ヘリウムを1.4リットル／分、アルゴンを7リットル／分、酸素を0.28リットル／分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、\*

\*13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。尚、ストリーマを均一化するため、実施例19～23において、スリット幅が1mmで、ガス導入口の開口面積がガス導入口直下における筒状容器の断面積よりも小さい筒状容器を使用した。また、実施例24においては、スリット幅が1mmで、ガス導入口の開口面積がガス導入口直下における筒状容器の断面積よりも小さい筒状容器を使用したことに加えて、筒状容器内に粗面化領域を設けたので、上記したストリーマ生成ガスの供給量により9370という高いレイノルズ数を有するストリーマ生成ガスの流れを筒状容器1内に実現した。さらに、実施例25においては、スリット幅が1mmで、且つ内部に乱流生成部材6が配置された筒状容器1を使用した。

【0115】プラズマ処理は、筒状容器1のプラズマ放出口12の下側（下流）5mmの位置に被処理物8を置いて、被処理物を筒状容器1の横長断面の横方向と直交する方向に100mm／秒で移動させて行った。被処理物としては、図24に示すように、凸形状の断面を有するエポキシ樹脂成形品を用い、プラズマ処理を行った直後の水の接触角により処理効果を評価した。すなわち、図24に示すように、被処理物上に水の接触角を測定する位置として3本の平行なラインA、B、Cを定義した。それぞれのライン上の複数点において水の接触角を測定し、その平均値を求めた。結果を表8に示す。尚、プラズマ処理を行う前に測定した各ライン上の水の接触角（平均値）は、それぞれラインAにおいて93度、ラインBで95度、ラインCで100度であった。

【0116】

【表8】

	被処理物表面の水の接触角（度）		
	ラインA	ラインB	ラインC
プラズマ処理前	93	95	100
実施例19	43	19	40
実施例20	22	18	19
実施例21	16	17	15
実施例22	13	22	17
実施例23	18	18	14
実施例24	15	12	11
実施例25	21	18	17

【0117】表8に示すように、実施例19では、ラインBとラインA、ラインCにおける水の接触角に差が見られた。これは、3次元の複雑な形状を有する被処理面をプラズマ処理する場合には、実施例19のプラズマ処理装置が処理効果均一手段を具備していないため、処理効果の均一性を凹凸のある被処理面の全域にわたって十分に提供することができなかったからと考えられる。これに対して、実施例20～25に示すプラズマ処理装置では、処理効果均一手段を具備しているので、ラインA～Cの水の接触角がほぼ同等で、凹凸を有する被処理物であ

っても、十分に均一なプラズマ処理を提供することができた。

実施例26～31

実施例26、29においては、図3に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器1は、板厚1mmの石英ガラス製で、内寸が幅1mm（スリット幅（S W））、長さ56mm（スリット長（S L））、高さ（H）80mmの矩形の筒形状を有する。ガス導入口10の開口幅および開口長さは、それぞれ1mmおよび16mmである。その他の構成については実施例1と同じ

である。

【0118】実施例27、30においては、図17に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器1は、板厚1mmの石英ガラス製であり、内寸が長さ56mm（スリット長（SL））、高さ（H）80mmの矩形的筒形状を有する。また、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段（g）を具備している。すなわち、この筒状容器は、図17（b）に示すように、筒状容器のスリット幅が、端部（SWE）から略中央（SWC）に向かって滑らかに減少するように、一対の凹曲面状の前壁13および後壁14と一対の平坦な側壁15とで形成されている。尚、前壁13と後壁14の間の最も狭い間隔（SWC）と最も広い間隔（SWE）の差は、45μmである。筒状容器1の中心部のスリット幅（SWC）は1mmである。また、ガス導入口10の開口長さは16mmである。その他の構成については実施例1と同じである。

【0119】実施例28、31においては、図16に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器1は、板厚1mmの石英ガラスを製で、スリット幅（SW）が1mm、ガス導入口10側のスリット長（SL）が85mm、プラズマ放出口12側のスリット長（SL）が56mm、高さ（H）が80mm、筒軸方向と側壁15のなす壁面傾斜角θが10、3度で、筒状容器1の筒軸方向の下流側に向かうほど流路断面積が小さくなるように台形状の一対の前壁および後壁と矩形形状の一対の側壁とで形成されている。すなわち、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段（f）を具備しているのである。尚、ガス導入口10の開口幅および開口長さはそれぞれ1mmおよび24mmである。その他の構成については実施例1と同じである。

＊

	照射距離	被処理物表面の水の濡れ角（度）			照射熱によるフィルム変形
		ラインA	ラインB	ラインC	
実施例26	2mm	8	9	11	小
実施例27		12	10	9	小
実施例28		7	10	11	小
実施例29	10mm	18	12	20	無
実施例30		11	12	11	無
実施例31		10	12	11	無

【0124】表9に示すように、照射距離が2mmである実施例26～28における水の接触角は、処理前と比べて大幅に改善されており、ラインAからCでほぼ同一の値となり、処理効果の高い均一性を確認できた。ただし、照射距離2mmではプラズマの熱の影響を受けたため、被処理物のフィルムには若干の反りが生じた。また、照射距離を10mmに設定した場合、水の接触角に関しては照射距離2mmの場合とほぼ同等のレベルであるが、熱によるフィルムの変形は認められなかった。

【0125】また、実施例30および31においては、各ラインの水の接触角に大きな差はなく、被処理物表面においてプラズマ処理の均一な処理効果を得ることがで

＊【0120】これらのプラズマ処理装置の各々において、大気圧下、ヘリウムを1リットル/分、アルゴンを5リットル/分、酸素を0、2リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。これらの実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅が1mmで、且つガス導入口10の開口面積がガス導入口直下における筒状容器の断面積よりも小さい筒状容器を使用した。

【0121】プラズマ処理は、筒状容器1のプラズマ放出口12の下流位置に被処理物8を配置し、被処理物8を筒状容器1の横長断面の横方向と直交する方向に30mm/秒で移動させて行った。被処理物8としては、幅55mmで処理表面が平坦なポリイミドフィルムを用い、リールトゥリールでプラズマ処理を行った直後の水の接触角により処理効果を評価した。尚、プラズマ放出口12と被処理物8との間の距離（照射距離）は、実施例26～28において2mm、実施例29～31において10mmとした。

【0122】プラズマ処理後、図25に示すように、ポリイミドフィルムの処理面上に平行なラインA、B、Cを定義し、各々のライン上において複数個所の水の接触角を測定し、その平均値を求めた。結果を表9に示す。尚、プラズマ処理を行う前に測定した各ラインにおける水の接触角の平均値は、それぞれラインAで37度、ラインBで40度、ラインCで38度であった。

【0123】

【表9】

きた。一方、実施例29ではラインA、Cの水の接触角とラインBのそれとの間には実施例30、31に比べややバラツキが大きかった。先に述べたように、プラズマジェットは、活性種が被処理物表面に到達するまでの時間が長いほど、換言すれば大気との接触面積が大きいほど処理効果が低下しやすい性質がある。従って、照射距離が大きいほど処理効果は低下しやすく、特にプラズマジエットの横方向の略中央～端部に向かうほど処理効果が低下しやすい。よって、実施例29の場合は、処理効果均一手段が設けられていないことに加えて、照射距離が10mmと長かったため、ラインA、ラインCにおける水の接触角の改善が他に比べて十分でなかったもの推測

される。

【0126】これに対して、実施例30、31において使用したプラズマ処理装置は、処理効果均一手段を具備しているため、照射距離が10mmと多少長くなってもラインA〜Cにおいてはほぼ一定の水の接触角を得ることができたものと考えられる。このように、凹凸を有する被処理物にプラズマ処理を施す場合において処理効果均一手段の有効性を確認することができた。

#### 実施例32

本実施例において使用したプラズマ処理装置は、筒状容器の内寸がスリット幅(SW)1mm、スリット長(SL)56mm、高さ(H)80mmであり、図3に示すように、ガス導入口10の開口幅及び開口長さをそれぞれ1mmおよび16mmとしたことを除いて実質的に実施例1と同じである。

【0127】このプラズマ処理装置を用いて、大気圧下、ヘリウムを2リットル/分、アルゴンを10リットル/分、水素を0.4リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。この実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅が1mmで、且つガス導入口の開口面積(16mm<sup>2</sup>)がガス導入口直下における筒状容器の断面積(56mm<sup>2</sup>)よりも小さい筒状容器1を使用した。

【0128】プラズマ処理は、プラズマ放出口12の下流5mmの位置に被処理物を配置し、被処理物を筒状容器1の横長断面の横方向に対して45°の方向に5mm/秒で移動させて行った。被処理物8としては、アルミナ基板にパラジウム添加銀ペーストをスクリーン印刷し、これを脱脂・焼成して形成したボンディングパッド部を有する回路板を使用した。

【0129】プラズマ処理後、ボンディングパッド部をXPSにて分析した結果、プラズマ処理前では酸化銀のピークが確認されたが、処理後にはこの酸化銀のピークは消失していた。これより、水素ラジカルを含むプラズマ処理により酸化銀が銀に還元されたことを確認できた。

#### 実施例33〜35

\*実施例33および34において使用したプラズマ処理装置は、筒状容器の内寸がスリット幅(SW)1mm、スリット長(SL)56mm、高さ(H)80mmであり、図3に示すように、ガス導入口10の開口幅及び開口長さをそれぞれ1mmおよび16mmとしたことを除いて実質的に実施例1と同じである。

【0130】実施例35においては、図16に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器1は、板厚1mmの石英ガラスを製で、スリット幅(SW)が1mm、ガス導入口10側のスリット長(SL)が85mm、ガスプラズマ放出口12側のスリット長(SL)が56mm、高さ(H)が80mm、筒軸方向と側壁15のなす壁面傾斜角θが10.3度で、筒状容器1の筒軸方向の下流側に向かうほど流路断面積が小さくなるように台形状の一对の前壁および後壁と矩形形状の一对の側壁とで形成されている。すなわち、本実施例の装置は、上記した処理効果均一手段(f)を具備しているのである。尚、ガス導入口10の開口幅および開口長さはそれぞれ1mmおよび24mmである。その他の構成については実施例1と同じである。

【0131】これらのプラズマ処理装置の各々において、大気圧下、表10に示すガス組成を有するヘリウムとアルゴンの混合ガスを12リットル/分、酸素を0.4リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56MHzの周波数で700Wの印加電力で高周波電界を放電空間7に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口12からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。これらの実施例では、ストリーマを均一化するために、スリット幅が1mmで、且つガス導入口10の開口面積がガス導入口直下における筒状容器の断面積よりも小さい筒状容器1を使用した。

【0132】プラズマ処理は、プラズマ放出口12の下流側3mmの位置に被処理物8を配置し、被処理物を筒状容器1の横長断面の横方向と直交する方向に10mm/秒で移動させて行った。被処理物8としては銅板を用いた。これらの実施例において、プラズマ処理中、被処理物8とプラズマジェットの間にはアーク放電が生じるかどうかを観察した。結果を表10に示す。

【0133】

\*【表10】

	希ガス全流量に対する He流量の割合(%)	被処理物とプラズマとの間の アーク放電発生の有無
実施例33	0	有
実施例34	5	無
実施例35	0	無

【0134】表10に示すように、実施例33のように希ガスにヘリウムを全く含有していない場合、被処理物とプラズマジェットの間にはアーク放電の発生が観察された。また、実施例35では、ヘリウムを全く含有してい

ないにもかかわらず、被処理物とプラズマジェットの間にはアーク放電が生じなかった。このことは、実施例35の処理効果均一手段は、アーク抑制効果としても機能することを示している。

## 実施例 36

本実施例では、図 20 に示すプラズマ点灯手段 70 を有するプラズマ処理装置を使用した。筒状容器 1 は、石英製であり、スリット幅 (SW) 1 mm、スリット長 (SL) 56 mm、高さ (H) 80 mm であり、ガス導入口 10 の開口幅及び開口長さをそれぞれ 1 mm および 16 mm とした。また、上部の電極 2 が高压電極、下部の電極 3 が低圧電極となるように、インピーダンス整合器 80 を介して高周波電源 4 に電極を接続した。また、図 20 に示すように、プラズマ点灯手段としての殺菌灯 70 を電極の一侧に略平行に配置した。その他の構成は実施例 1 と同じである。

【0135】このプラズマ処理装置において、大気圧下、ヘリウムを 2 リットル/分、アルゴンを 10 リットル/分、酸素を 0.4 リットル/分の割合で混合したストリーマ生成ガスを供給し、13.56 MHz の周波数で 400 W の印加電力で高周波電界を放電空間 7 に印加して複数のストリーマを発生させることを試みた。

【0136】プラズマを点灯するために紫外光を放射する放電ランプ (例えば、殺菌灯 70) から提供される光を放電空間 7 に照射した場合は、電極 2、3 間に印加する電圧を約 3 kV とすれば放電を開始させることができたが、プラズマ点灯手段 70 を使用しないでプラズマを点灯させるには電極間に 5 kV 以上もの高電圧を印加する必要があった。この結果は、プラズマ点灯手段 70 の使用が放電空間に印加すべき電圧を大幅に低下させることができることを示している。すなわち、電源 4 により電極に AC あるいはパルス電圧が印加された条件下で該放電ランプの紫外線を放電空間 7 に照射することにより、放電空間中の電子数を増加させることができ、結果として、放電空間内で放電ガスの電離を促進し、放電を容易に開始させることができる。

## 実施例 37

本実施例では、図 16 に示す構成のプラズマ処理装置を使用した。筒状容器 1 は、板厚 1 mm の石英ガラス製で、スリット幅 (SW) が 1 mm、ガス導入口 10 側のスリット長 (SL) が 85 mm、プラズマ放出口 12 側のスリット長 (SL) が 56 mm、高さ (H) が 80 mm、筒軸方向と側壁 15 のなす壁面傾斜角  $\theta$  が 10.3 度で、筒状容器 1 の筒軸方向の下流側に向かうほど流路断面面積が小さくなるように台形形状の一对の前壁および後壁 13、14 と矩形形状の一对の側壁 15 とで形成されている。すなわち、本実施例の装置は、上記した処理効果均一化手段 (f) を具備しているのである。尚、ガス導入口 10 の開口幅および開口長さはそれぞれ 1 mm および 24 mm である。その他の構成については実施例 1 と同じである。

【0137】本実施例のプラズマ処理装置において、大気圧下、ヘリウムを 2 リットル/分、アルゴンを 10 リットル/分、酸素を 0.4 リットル/分の割合で混合し

たストリーマ生成ガスを供給し、パルス状の電界を放電空間 7 に印加して複数のストリーマを発生させ、プラズマ放出口 12 からプラズマを被処理物の表面に噴射してプラズマ処理を行った。ストリーマを均一化するために、ストリーマ生成ガスの筒状容器の軸方向におけるガス流速を 5 m/秒以上とするとともに、スリット幅が 1 mm で、ガス導入口 10 の開口面積 (24 mm<sup>2</sup>) をガス導入口直下における筒状容器の断面面積 (85 mm<sup>2</sup>) よりも小さい筒状容器 1 を使用した。

【0138】印加したパルス電圧波形を図 26 に示す。また、波形パラメータは、周波数 ( $f_r$ ) は 120 kHz、立ち上り時間 ( $t_r$ ) は 70 nsec、周期 (T) は、8.3  $\mu$ sec、パルス巾 ( $t_w$ ) は 280 nsec、ピークトゥピーク電圧 ( $V_{pp}$ ) は 5.5 kV である。被処理物にはネガ型フィルムレジストを 1  $\mu$ m の厚みで塗布したシリコン基板を用いた。プラズマ処理後、レジストのエッチング深さを測定してその平均値を求めたところ、450 Å であった。

【0139】

【発明の効果】上記したように、本発明は、均一なプラズマ処理を高い処理速度で被処理物に施すことに成功した。すなわち、プラズマ均一化手段を具備するプラズマ処理装置を使用すること、および/あるいはプラズマ均一化ステップを含むプラズマ処理方法を実施することにより、筒状容器内に発生させた多数のストリーマを筒状容器の横長断面の横方向において均一化することができた。

【0140】したがって、本発明のプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法は、被処理物の表面に存在する有機物や有機汚れ等のアッシングやクリーニング、レジストの剥離やエッチング、フィルムや成形品の表面改質、水や半田などの濡れ性の改善、接着性・密着性の改善、金属酸化物の還元、殺菌・滅菌、製膜などの広い分野において利用可能であって、特に、精密な接合が要求される電子部品や半導体部品の表面クリーニングや表面改質に好適に利用されるものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】(a) は、本発明のプラズマ処理装置の一例を示す概略斜視図であり、(b) は筒状容器の横断面図である。

【図 2】(a) は、ストリーマ生成用の電極配置を示す概略断面図であり、(b) はグロー放電生成用の電極配置を示す概略断面図である。

【図 3】(a) は、本発明のプラズマ処理装置の他例を示す概略斜視図であり、(b) および (c) はガス導入口の開口面積 (S2) とガス導入口直下の筒状容器の断面面積 (S1) の位置を示す部分斜視図および部分断面図である。

【図 4】図 3 のプラズマ処理装置内におけるガスの流れを示す概略図である。

【図 5】(a) は、非放電時におけるプラズマ放出口で



のガス流速分布を示す図であり、(b)放電時におけるプラズマ放出口でのガス流速分布を示す図である。

【図6】(a)は、図3のプラズマ処理装置の筒状容器の平面図であり、(b)は(a)の筒状容器の軸方向におけるガス流速変化を示す図である。

【図7】本発明の乱流生成部材を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図8】プラズマ放出口と被処理物との間の距離(照射距離)による処理効果の変化を示す図である。

【図9】本発明の処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図10】本発明の別の処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図11】本発明のさらに別の処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図12】図11のプラズマ処理装置のプラズマ放出口におけるガス流速分布を示す図である。

【図13】本発明の別の処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図14】(a)は、本発明の処理効果均一手段として粗面化領域を有する筒状容器を用いたプラズマ処理装置の概略斜視図であり、(b)は同筒状容器の粗面化領域を示す平面図である。

【図15】(a)は、本発明の処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図であり、(b)は同装置の筒状容器の断面図であり、(c)～(g)は筒状容器の断面形状の他例を示す図である。

【図16】(a)は、本発明のさらに別の処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図であり、

(b)は同プラズマ処理装置内のストリーマ生成ガスの流れを示す図である。

【図17】(a)は、本発明のさらに別の処理効果均一手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図であり、\*

\* (b)は、同装置の筒状容器の断面図である。

【図18】本発明のヘッダーを具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図19】本発明のプラズマ点火手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図20】本発明の別のプラズマ点火手段を具備するプラズマ処理装置の概略斜視図である。

【図21】(a)～(j)は、筒状容器内に生成された複数のストリーマが均一化されない場合の放電状態の時間変化を示す写真である。

【図22】(a)～(j)は、筒状容器内に生成された複数のストリーマを均一化した場合(本発明)の放電状態の時間変化を示す写真である。

【図23】比較例1で使用したプラズマ処理装置(従来例)の概略斜視図である。

【図24】プラズマ処理効果を評価するために実施例19～25で使用された被処理物の概略斜視図である。

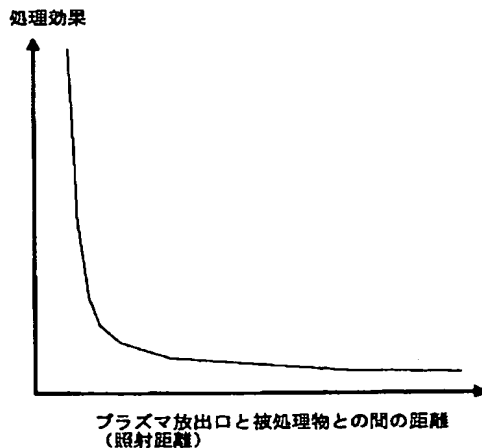
【図25】プラズマ処理効果を評価するために実施例26～31で使用された被処理物の概略斜視図である。

【図26】実施例37において印加したパルス電圧波形を示す図である。

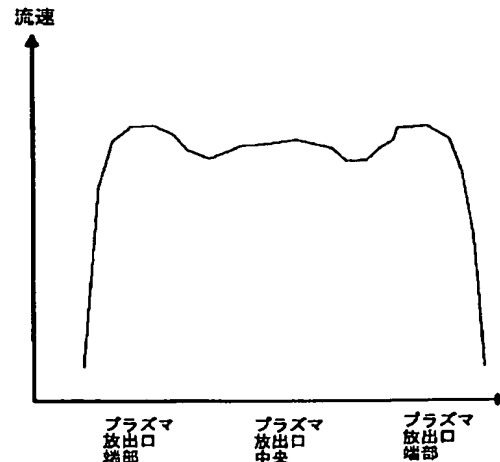
【符号の説明】

- 1 筒状容器
- 2、3 電極
- 4 電源
- 7 放電空間
- 8 被処理物
- 10 ガス導入口
- 12 プラズマ放出口
- 13 前壁
- 14 後壁
- 15 側壁
- 21、31 矩形開口

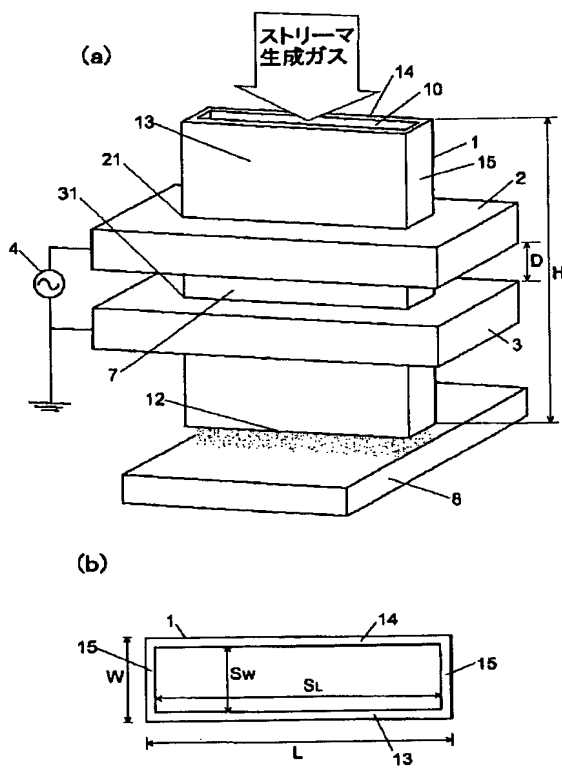
【図8】



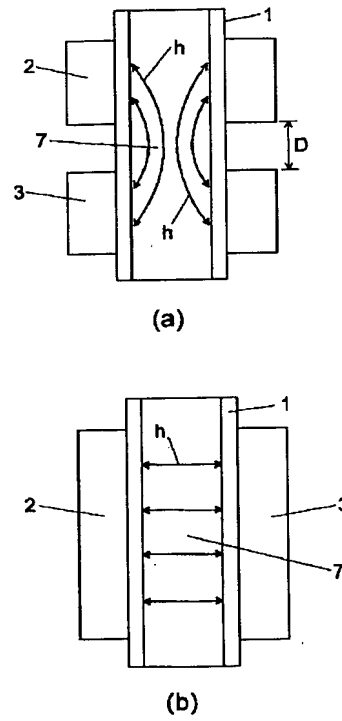
【図12】



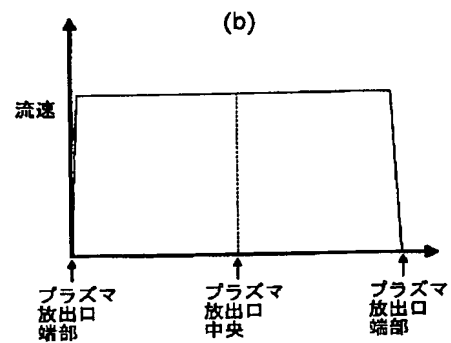
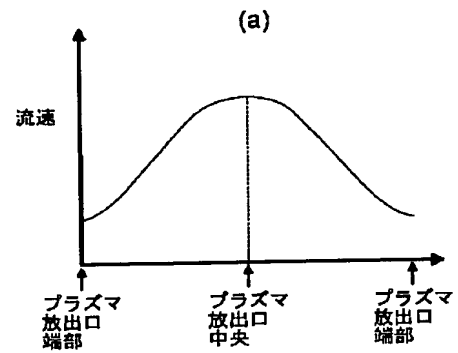
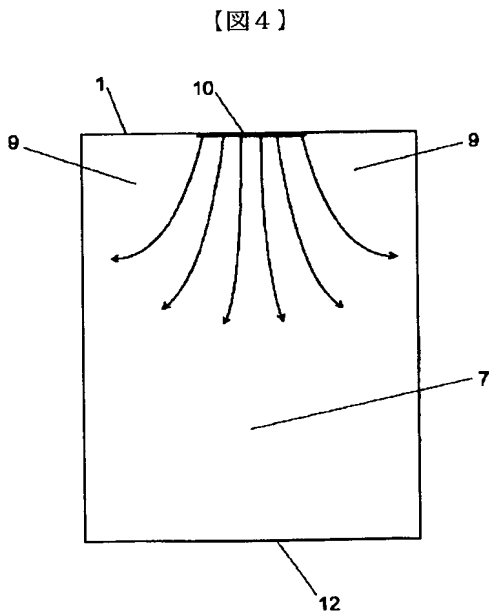
【図1】



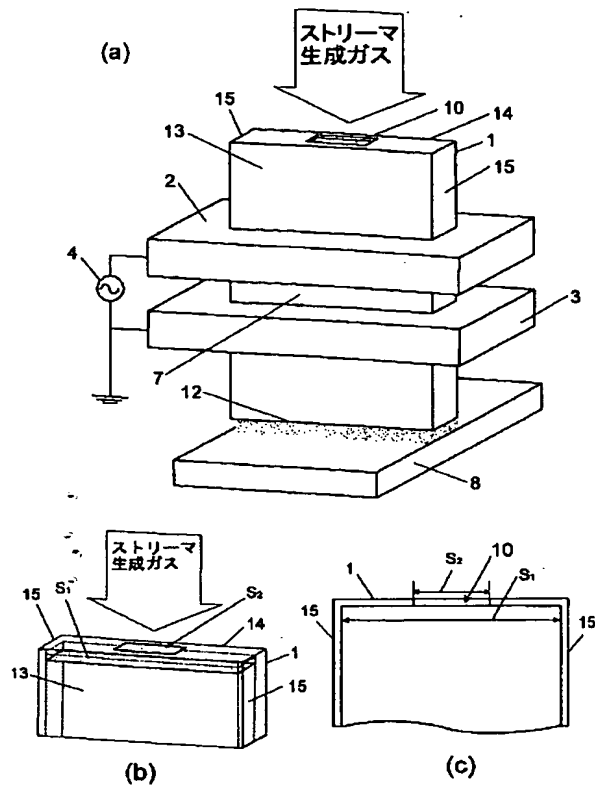
【図2】



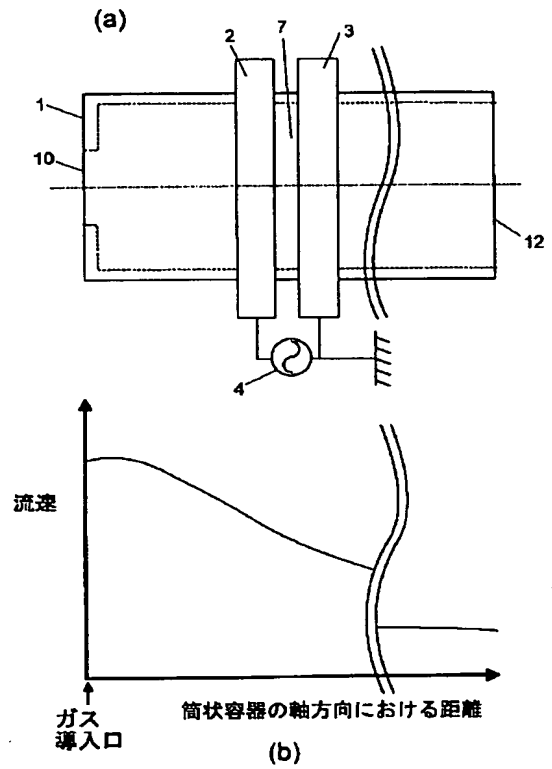
【図5】



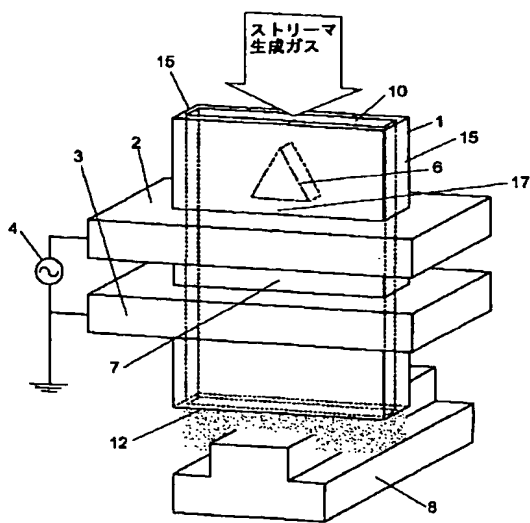
【図3】



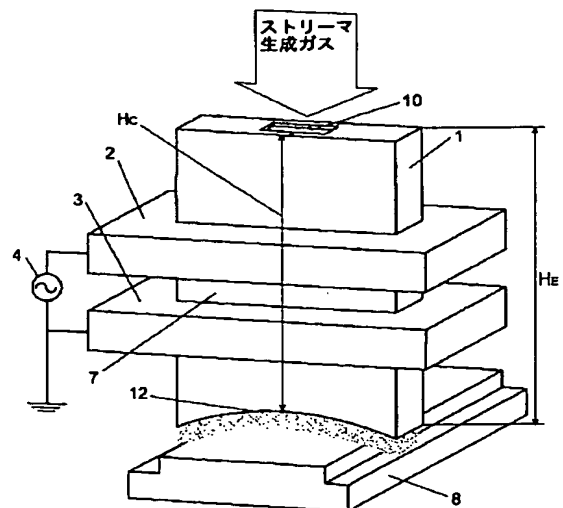
【図6】



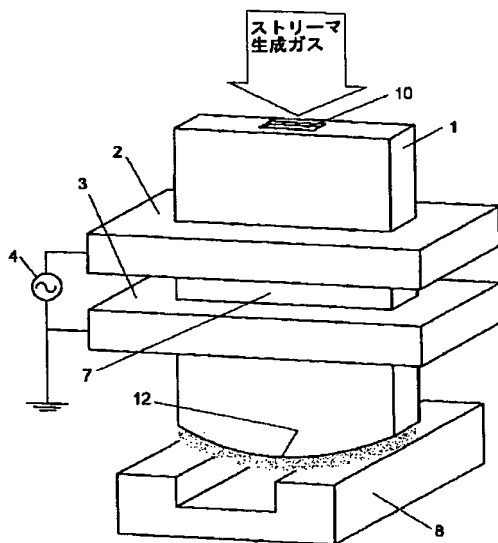
【図7】



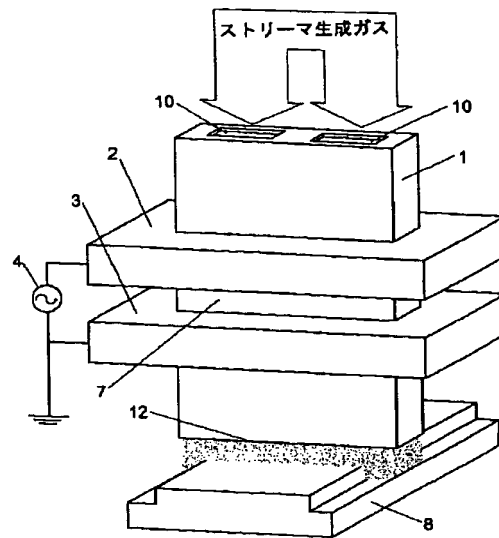
【図9】



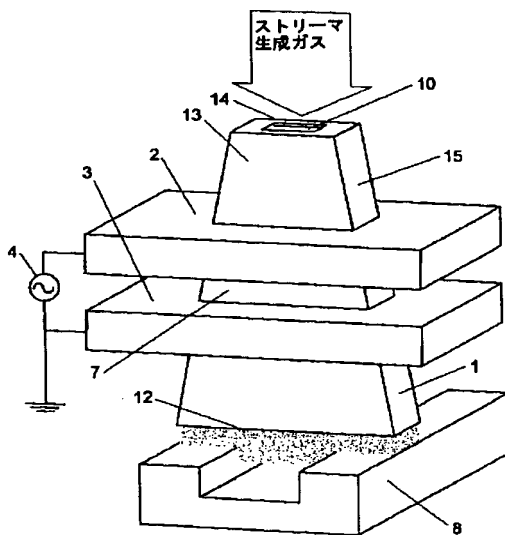
【図10】



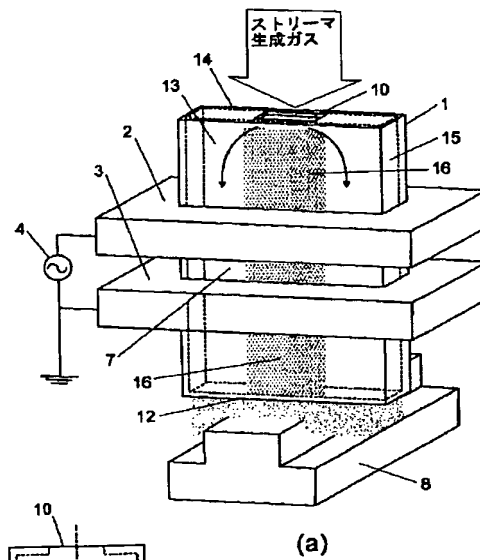
【図11】



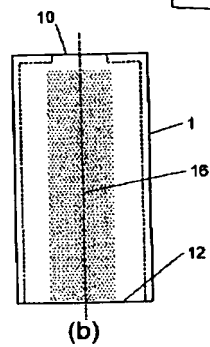
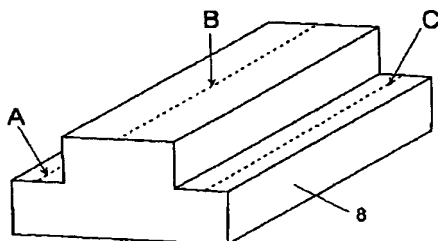
【図13】



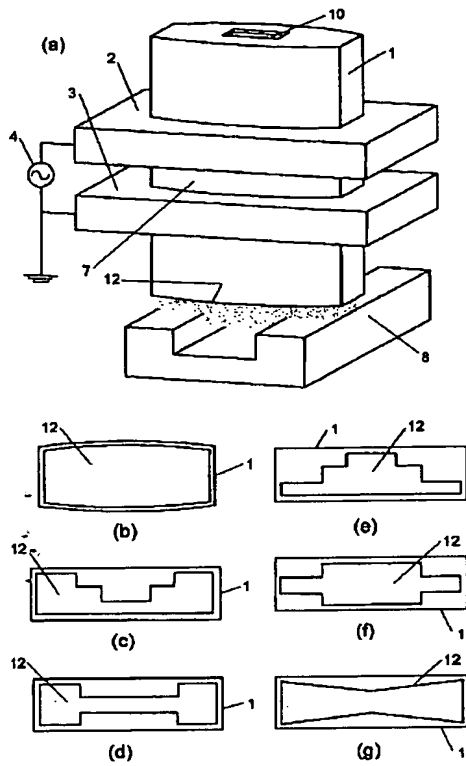
【図14】



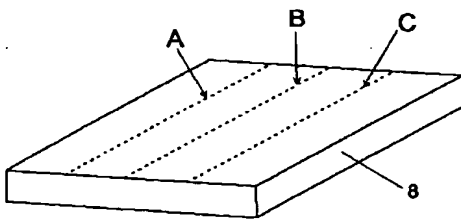
【図24】



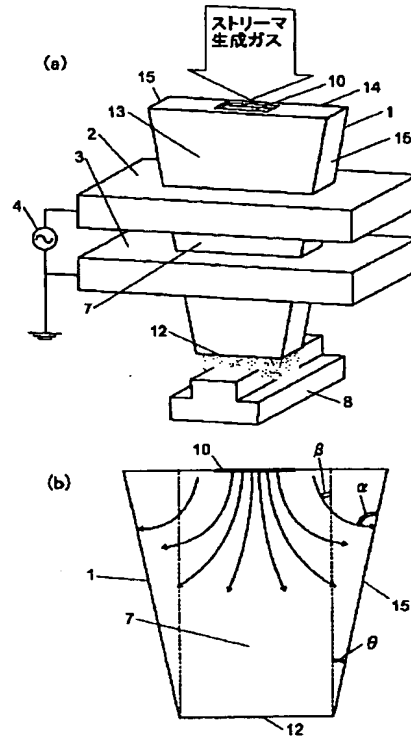
【図15】



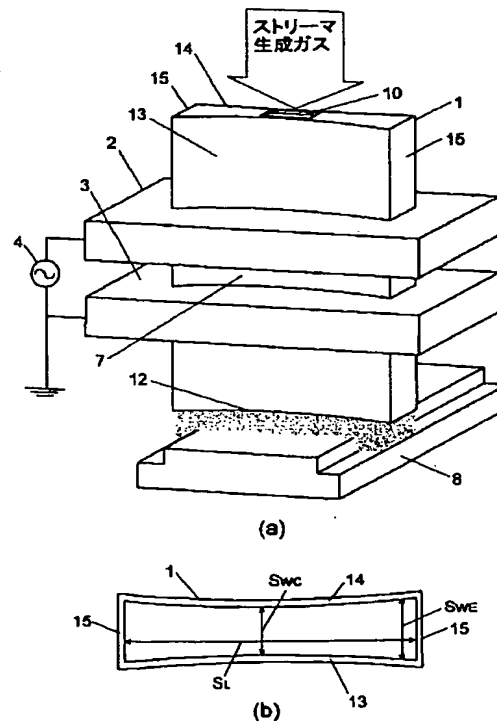
【図25】



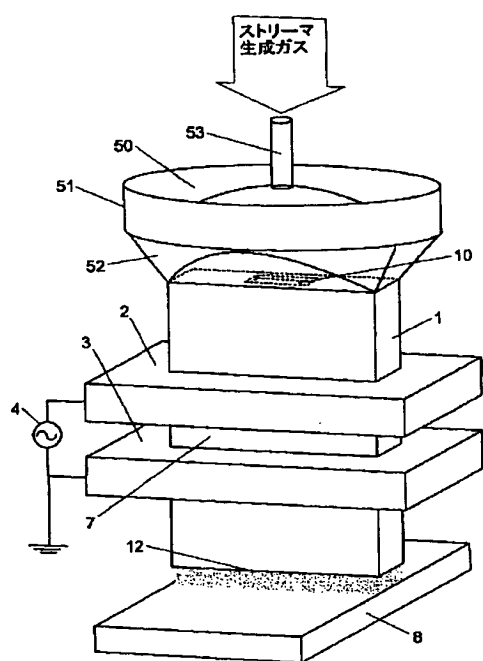
【図16】



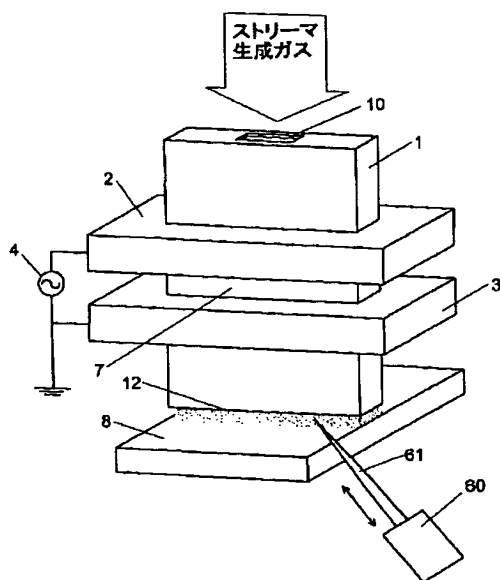
【図17】



【図18】

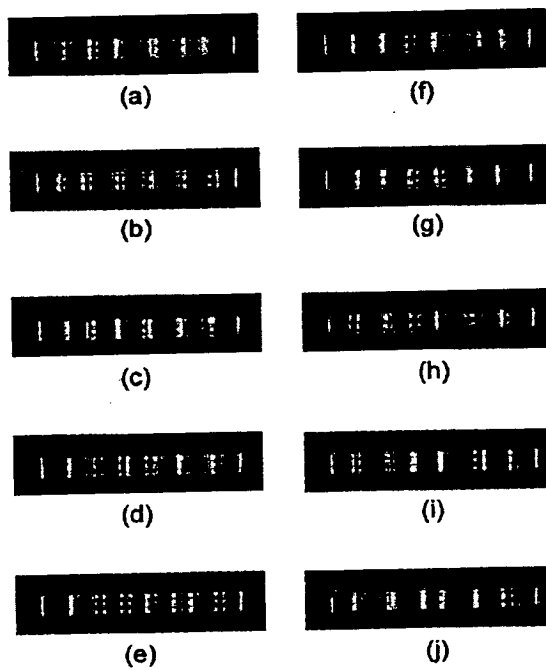
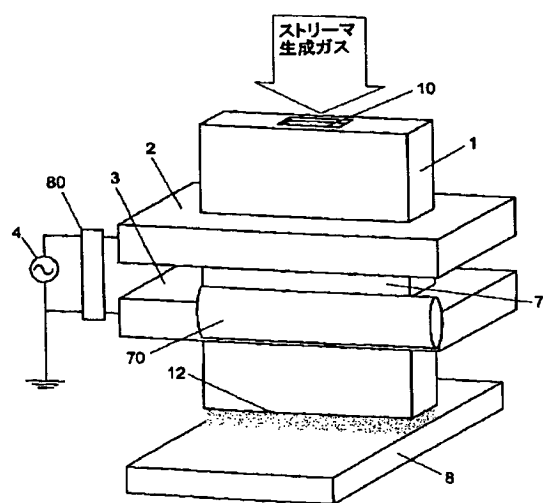


【図19】

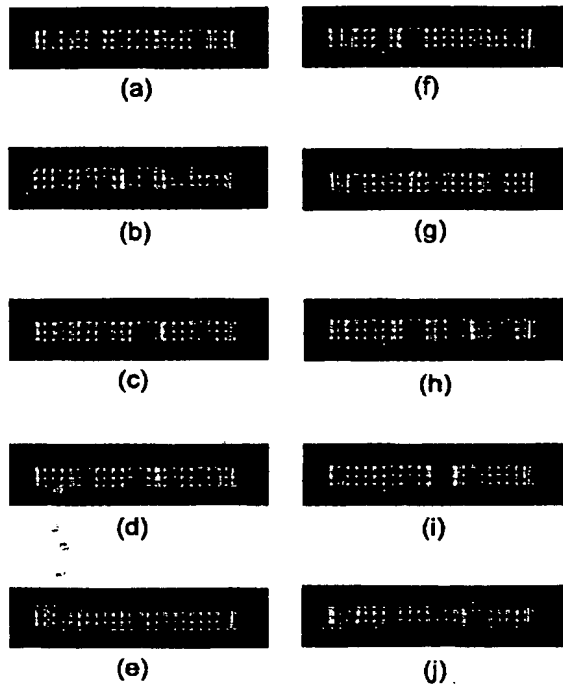


【図21】

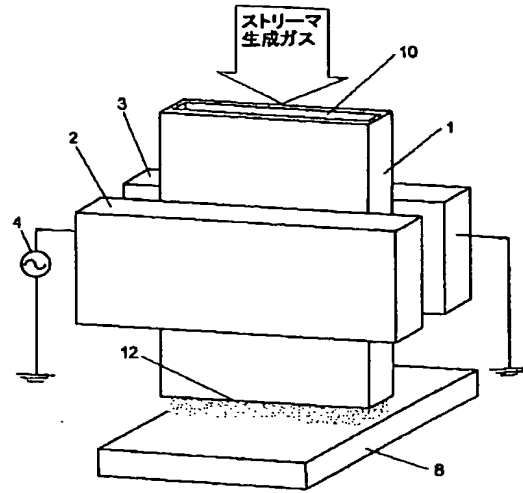
【図20】



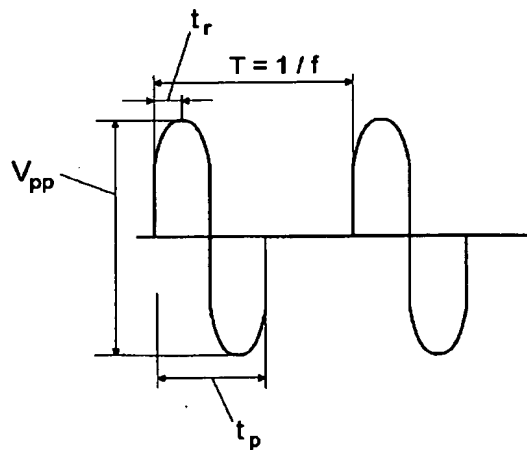
【図22】



【図23】



【図26】



フロントページの続き

(72)発明者 澤田 康志  
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株  
式会社内  
(72)発明者 中園 佳幸  
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株  
式会社内

(72)発明者 田口 典幸  
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株  
式会社内  
(72)発明者 仲野 章生  
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株  
式会社内

F ターム(参考) 4G075 AA24 AA30 AA61 BC06 BC10  
CA15 CA62 CA63 DA02 EB42  
EC21 EE02 FB02 FB04 FB06  
FC06 FC15  
5F004 AA14 BA11 BB11 BD01 DA00  
DA22 DA23 DA26 DB26 EB02